

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Zpracování technologického postupu pro svařování
části hydraulického tlumiče

Elaboration of Technological Process for Welding Component of
Hydraulic Absorber

Student:

Bc. Petr Lochman

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Lochman**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Zpracování technologického postupu pro svařování části hydraulického tlumiče**
Elaboration of Technological Process for Welding Component of Hydraulic Absorber

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte princip výroby hydraulického tlumiče.
2. Proveďte studii základních materiálů tlumiče vč. hodnocení svařitelnosti.
3. Navrhněte konstrukční řešení přípravku pro svařování
4. Zpracujte detailní technologický postup svařování hydraulického tlumiče.
5. Proveďte ověření vlastností svarových spojů.
6. Proveďte diskuzi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2005. 133s. ISBN 80-248-0870-6
KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2009. 240s. ISBN 978-80-248-2025-5
HRIVNÁK, I. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. 1. vydání. VSAV Bratislava. 1989. 344s. ISBN 80-224-0016-5
ČSN EN ISO 15614-1 *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupů svařování - Část. 1: Obloukové a plamenové svařování ocelé a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

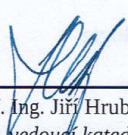
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**


Konzultant diplomové práce: Vladimír Lochman

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

Podpis studenta.....

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne.....

.....

Bc. Petr Lochman

Adresa trvalého pobytu autora práce: Chabičov 40, Šternberk 785 01

Děkuji doc. Ing. Drahomíru Schwarzovi, CSc. za odborný dohled, vedení, věnovaný čas a pomoc při tvorbě mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu a také Ing. Jánů Sokolovi za ochotu a sdělení informací a rad nutných pro zpracování.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce se zabývá návrhem výrobního postupu svařence páky hydraulického tlumiče. V teoretické části je popsán způsob výroby výrobku, kterého je řešená páka součástí, dále je zkoumána svařitelnost nízkolegovaných ocelí, které jsou použity při výrobě. V praktické části je proveden návrh konstrukce přípravku pro sestavení polotovaru svařence, následně detailní technologický postup svařování páky hydraulického tlumiče. Nedílnou součástí je ověření navrhnuté technologie pomocí nedestruktivních a destruktivních zkoušek. V závěru práce je zpracován návrh na zlepšení technologie svařování a jeho následné ověření.

Klíčová slova

Svařenec, přípravek, svarový spoj, teplem ovlivněná oblast (TOO), přídavný materiál, předeřev, dořev.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

The aim of this master's thesis was to summarize the proposal of manufacturing process of selected weldment lever, which is part of hydraulic shock absorber. At first is described, how is the hydraulic shock absorber made. In particular, the theoretical part deals with weldability of low-alloy steels, which are used in manufacturing process. In practical part of this thesis is design of preparation for completion lever of hydraulic shock absorber. The practical part is focused on testing of designed welding technology, it includes destructive and non-destructive tests. At the end of thesis is offer to improve welding technology.

Keywords

Weldment, preparation, welded joints, heat affected zone, added material, preheating, reheating.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	10
ÚVOD	11
1 Charakteristika výroby hydraulického tlumiče	12
2. Studie svařitelnosti materiálů použitých na součást tlumiče	13
2.1 Svařitelnost ocelí	13
2.2 Parametry ovlivňující svařitelnost ocelí	14
2.3 Svařitelnost uhlíkových ocelí	15
2.4 Svařitelnost nízkolegovaných ocelí	17
2.5 Studie svařitelnosti materiálů použitých při výrobě páky tlumiče	19
3 Návrh konstrukčního řešení přípravku na svařování	21
3.1 Svařenec páky hydraulického tlumiče	21
3.2 Svařovací přípravek	22
3.3 Sestavení polotovaru svařence	23
3.4 Provedení stehování velkého čepu a páky	24
3.5 Upevnění polotovaru svařence při svařování	25
4 Detailní technologický postup svařování páky tlumiče	26
4.1 Svařovaný materiál	26
4.2 Metoda svařování	27
4.3 Úprava svarových ploch	27
4.4 Volba přídavného materiálu	28
4.5 Svařovací parametry	29
4.6 Volba ochranné atmosféry	29
4.7 Výpočet teploty předehřevu svařovaných materiálů	29
4.8 Stanovení teploty dohřevu	31
4.8.1 Náchylnost svarového spoje na studené trhliny	31

4.8.2 Určení teploty dohřevu	32
4.9 Provedení svaru	33
5 Ověření vlastností svarového spoje	34
5.1 Popis zkoumaného kusu a provedené zkoušky	34
5.2 Vizuální zkouška	35
5.3 Provedení penetrační zkoušky (PT)	35
5.4 Provedení nedestruktivní zkoušky prozářením (RTG)	35
5.5 Příprava vzorků pro destruktivní zkoušky	36
5.6 Vyhodnocení rozborů	36
5.6.1 Makrostrukturní hodnocení kvality svarového spoje	36
5.6.2 Metalografický rozbor mikrostruktury	39
5.7 Stanovení profilu tvrdosti přes svarový spoj	49
5.8 Provedení tahové zkoušky	50
5.9 Návrh nové technologie svařování	51
5.9.1 Výběr přídavného materiálu a ochranného plynu	51
5.9.2 Svařovací parametry a průběh svařování	52
5.9.3 Úprava tepelného zpracování malého čepu	53
5.9.4 Opatření proti vzniku kráterových trhlin a dutin ve svarovém kovu	53
5.9.5 Provedení svařovacího procesu	54
5.10 Ověření nové technologie svařování	57
5.10.1 Nedestruktivní zkoušky	57
5.10.2 Destruktivní zkoušky	57
6 Diskuze dosažených výsledků	61
7 Závěr	62
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
SEZNAM PŘÍLOH	64

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

HB – tvrdost dle Brinella

HRC – tvrdost dle Rockwella

R_m – mez pevnosti [MPa]

R_{p0,2} – mez kluzu [MPa]

A₅ – tažnost [%]

KV – nárazová práce [J]

E – modul pružnosti [GPa]

ρ – měrná hmotnost [g.cm⁻³]

T_{TAV} – teplota tavení [°C]

a – měrná tepelná vodivost [m².s⁻¹]

ρ_c – objemový tepelný obsah [J.m⁻³.K⁻¹]

λ – součinitel tepelné vodivosti [W.m⁻¹.K⁻¹]

L – latentní teplo tavení [J.m⁻³]

c – měrná tepelná kapacita [J.kg⁻¹.K⁻¹]

I – svařovací proud [A]

U – svařovací napětí [V]

v – svařovací rychlost [mm.s⁻¹]

d_d – průměr svařovacího drátu [mm]

s - tloušťka svařovaných součástí [mm]

C_{E(IIW)} – uhlíkový ekvivalent [%]

C_p - koeficient vlivu ekvivalentního uhlíku a tloušťky materiálu

T_p – teplota přehřevu [°C]

HD - difuzní vodík [ml.100g⁻¹]

Q – tepelný příkon [kJ.mm⁻¹]

ÚVOD

Svařování je významným technickým oborem, bez kterého si strojírenství nelze vůbec představit. Díky této technologii je možné vyrábět součásti, které by nebylo možné jinou technologií vůbec vyrobit. Svařování má široký rozsah použití, je možné jej aplikovat jak na složité velké výrobky, tak i na malé součásti. Použitím speciálních svařovacích technologií je možné svařovat materiály s různým chemickým složením a odlišnými mechanickými vlastnostmi.

V současné době jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu a efektivnost svařování, to znamená, že podpora vědy a výzkumu v této oblasti je nezbytná. Kvalita svarových spojů je dána normou, která se musí dodržet. To znamená, že je potřeba vzdělaných a zručných lidí, kteří by tuto kvalitu měli zajistit. Případně při použití svařovacích robotů na automatizovaných pracovištích, jako jsou linky na výrobu automobilů. Zde tyto automaty stoprocentně zastupují práci člověka.

Při návrhu svařenců je nezbytně nutná úzká spolupráce mezi konstruktéry a technologi svařování. Tato spolupráce má velký vliv na kvalitu budoucích výrobků. Klíčem k úspěchu může být použití CAD/CAM systémů, které by měly zajistit rychlou komunikaci. Navrhnout svařenec, který je v budoucnu těžko vyrobitelný znamená v lepším případě zvyšování strojního času a nákladů na výrobu, v horším případě výrobu zmetků.

Diplomovou práci jsem vypracoval ve firmě LOCHMAN-VVS, ve které působím už delší dobu. Díky tomuto zaměstnání, které vykonávám při studiu, jsem získal spoustu zkušeností se skutečnou výrobou. Pro svou diplomovou práci jsem si vybral svařování součásti, která se používá na výrobu hydraulického tlumiče pro vojenská pásová vozidla. Cílem bylo vypracovat technologický postup výroby, provést svařovací cyklus a následně tyto skutečnosti ověřit zkouškami. Zároveň jsem si osvojil znalosti získané na vysoké škole při studiu teorie svařování.

1. Charakteristika výroby hydraulického tlumiče

Hydraulický tlumič se skládá z více druhů součástí, které se zhotovují různými výrobními technologiemi. Nejvíce namáhané součásti jsou vyrobeny z výkovků (těleso, lopatka, přepážka, víko, páka s čepy), zušlechtěny na tvrdost předepsanou dle technického výkresu (255 až 302 HB) a následně mechanicky opracovány. Použití výkovků je zcela žádoucí, z důvodu úspory materiálu, zvýšení pevnosti a urychlení výroby. Tlumič se dále skládá z přepouštěcích ventilů, pružin, kluzného ložiska, těsnících prvků (gufera, o-kroužky), jehličkového ložiska, šroubů a pojistných podložek.

Jednotlivé části jsou přebírány dle technických požadavků a následně smontovány. Při sestavování je kladen velký důraz na čistotu všech komponent, protože některé součásti konají kluzný pohyb a stírají olej z funkčních ploch. Nečistoty by mohly působit jako brusivo a tyto kluzné plochy mechanicky poškodit, což by vedlo k netěsnosti tlumiče a ztrátě požadovaného tlaku, a to je zcela nepřijatelné. Sestavený tlumič je naplněn hydraulickým olejem a odzkoušen na zkušebním stavu dle zkušebního postupu. Pokud tlumič splňuje předepsaný tlak, je přepraven na povrchovou úpravu, kde dojde k jeho odmaštění a následně nastříkání barvou.

Z hydraulického tlumiče, který nesplňuje předepsaný tlak, se vypustí olej, provede se demontáž a jednotlivé části jsou očištěny. Tlak v tlumiči se upravuje pomocí přepouštěcích ventilů, které obsahují pružiny. Pod tyto pružiny se přidávají podložky, čímž se zvětšuje jejich předpětí. K otevření přepouštěcích ventilů je zapotřebí větší síla, tím pádem nám vzroste tlak uvnitř tlumiče. Součásti se opět smontují a hydraulický tlumič se přezkouší. Celý proces se opakuje, dokud není dosažen požadovaný tlak.

2. Studie svařitelnosti materiálů použitých na součást tlumiče

2.1 Svařitelnost ocelí

Pod tímto pojmem si představíme vlastnost kovů a slitin, která je úzce spjata s vlastnostmi základního svařovaného materiálu a svarového kovu. Taktéž záleží na použité technologii svařování, výrobními možnostmi a také správnou konstrukcí svařence. Špatná svařitelnost vede ke vzniku trhlin a následnému praskání v základním materiálu nebo v teplem ovlivněné oblasti. Problematiku svařitelnosti ocelí řeší Mezinárodní svářečský ústav, ten vydává různá doporučení a normy, které musí splňovat konstrukční oceli, aby byly vhodné ke svařování. [1]

Svařitelnost ocelí, jak ji definuje ISO:

“Kovový materiál se považuje za svařitelný do určitého stupně při daném způsobu svařování a pro daný účel, lze-li odpovídajícím technologickým postupem svařování dosahovat kovové celistvosti svarových spojů tak, že tyto spoje vyhovují technickým požadavkům, jež se týkají jak vlastností samotných spojů, tak i vlivu těchto spojů na konstrukční celek, jehož součástí tyto spoje jsou.” [1]

V normě ČSN EN 1011 se uvádí pět pojmů, které hlavně souvisí s problematikou svařitelnosti ocelí. Jsou to: [1]

- návrh svarového spoje
- vodíkem indukované praskání
- houževnatost a tvrdost tepelně ovlivněné oblasti
- krystalizační praskání
- lamelární praskání

2.2 Parametry ovlivňující svařitelnost ocelí

Základní parametry, jež mají vliv na svařitelnost ocelí, se dělí do třech prvotních oblastí. Každá tato oblast obsahuje množství rozmanitých problematik a samotných procesů, které jsou okrajově uvedeny v následujícím rozdělení. [1]

Vlastnosti základního materiálu a svarového kovu ovlivňující svařitelnost ocelí: [2]

- chemické složení
- mechanické vlastnosti
- mikrostruktura
- absorpce plynů
- oxidační schopnost
- vlastnost a chování za vysokých teplot
- chování při rychlém ohřevu
- chování při velkých rychlostech ochlazování (kalitelnost)
- transformace struktury
- precipitační vytvrzování
- náchylnost na vznik trhlin
- metalurgické reakce mezi svarovým kovem a struskou, nebo ochrannou atmosférou

Vliv použité metody svařování a výrobních podmínek na svařitelnost ocelí: [2]

- tavné nebo tlakové svařování
- množství tepla vneseného do svarového spoje
- parametry svařování
- příprava a čistota svarových ploch
- dokonalost ochrany místa svaru
- průměry použitých přídavných materiálů
- přístup ke svaru
- poloha svaru
- předehřev svaru

- teplota Interpass
- tepelné zpracování
- prokovávání svarových housenek
- způsob kladení svarových housenek
- pořadí provádění svarů
- použití speciálních metod pro snížení zbytkových napětí

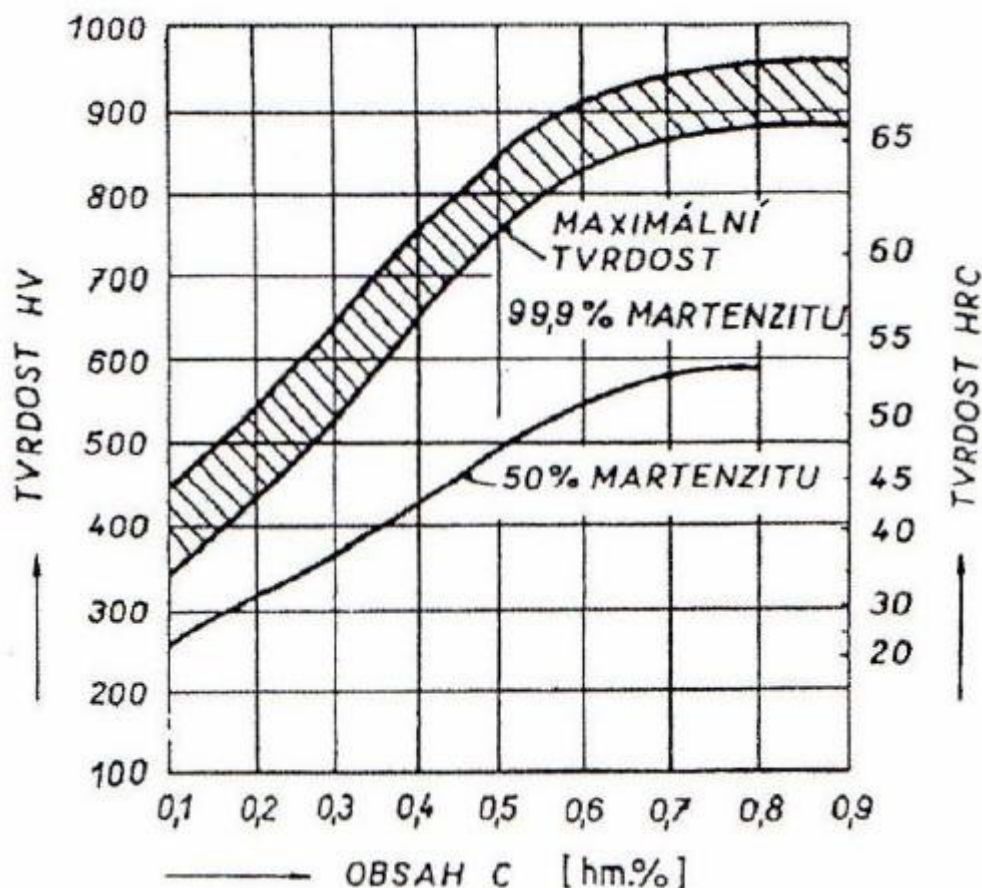
Vliv konstrukce svařence na svařitelnost ocelí: [2]

- počet svarů na konstrukci
- typy použitých svarů
- umístění svarů na konstrukci
- kumulace svarových spojů na konstrukci
- tloušťka svarových spojů
- tuhost svařované konstrukce
- zbytková napětí
- deformace svařence
- konstrukční vruby v blízkosti svarů
- náhlé přechody tloušťek v blízkosti svarů

2.3 Svařitelnost uhlíkových ocelí

Svařitelnost uhlíkových ocelí je ovlivňována především jejich chemickým složením. Výrobci ocelí obvykle garantují u uhlíkových ocelí pouze obsahy C, Mn, Si, P a S. Na svařitelnost uhlíkových ocelí má největší vliv především obsah uhlíku. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku se sice zvyšuje jejich mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost, ale jejich plastické vlastnosti se snižují. S rostoucím obsahem uhlíku se také zvyšuje náchylnost uhlíkových ocelí k zakalení při svařování. Tvrdost vznikajícího martenzitu se zvyšuje s rostoucím obsahem uhlíku v oceli. Současně se zvyšuje náchylnost na vznik studených trhlin, především v TOO svarového spoje. [2]

Závislost tvrdosti a procenta martenzitu ve struktuře TOO svarového spoje na obsahu uhlíku je zobrazen na obr.1. Z této závislosti bylo také stanoveno kritérium maximální přípustné tvrdosti v TOO svarového spoje uhlíkové oceli 350 HV. Odpovídá obsahu uhlíku v oceli 0,25% a 50% obsahu martenzitu ve struktuře. Z uvedených důvodů je proto obsah uhlíku ve svařitelných ocelích omezován na hodnotu $C \leq 0,25 \%$ [2].



Obr. 1: Závislost tvrdosti svarového spoje na obsahu uhlíku v oceli a na procentu martenzitu ve struktuře TOO [2].

Dohřev není ve většině případů nutný, předepisuje se pouze při svařování materiálů větších tloušťek. Interpass (mezihousenkovou teplotu) nepředepisujeme. U uhlíkových ocelí větších tloušťek může být předehřev nahrazen větším tepelným příkonem, přičemž dochází k většímu nahřátí okolí svarového spoje, tím pádem pomalejšímu ochlazování. Pro snížení obsahu vodíku ve svarovém spoji se doporučuje předehřev 2 až 6 hodin při teplotě větší než 200°C. Volba přídavných materiálů dle vlastností, které jsou požadovány pro danou konstrukci. [2]

Tabulka 1. Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku [2].

Obsah uhlíku [hm. %]	Teplota předehřevu [°C]
0,20 až 0,30	100 až 150
0,30 až 0,45	150 až 275
0,40 až 0,80	275 až 425

2.4 Svařitelnost nízkolegovaných ocelí

U nízkolegovaných ocelí jsou mechanické hodnoty (mez kluzu, mez pevnosti) zvýšeny různými způsoby: [2]

- jemným zrnem (vznik zárodků)
- precipitačním vytvrzením
- zpevněním tuhého roztoku
- precipitačním vytržením

Těchto hodnot lze dosáhnout jak za normálních teplot, tak i při teplotách zvýšených. Tyto oceli se tepelně zpracovávají rekrytalizační žíháním a poté popouštěním. Obsah chromu, molybdenu a vanadu nám zaručí žárupevnost oproti uhlíkovým ocelím v rozmezí teplot 500 – 580°C. [2]

Při zkoumání svařitelnosti těchto ocelí je vhodné studovat ARA diagramy příslušné oceli, především pak oblast vzniku martenzitu. Legující prvky jako Cr, Mn, Ni snižují kritickou rychlost ochlazování, a proto nastává zvýšený sklon k zakalení TOO, tzn., že uvedené prvky zhoršují svařitelnost. Sklon k zakalení bývá posuzován ekvivalentním uhlíkem. C_e . Použijeme-li C_e k porovnání různých nízkolegovaných ocelí na náchylnost k zakalení, získáme názor, jakou strukturu lze v TOO očekávat. Nutno mít na paměti ještě další faktory, které spolupůsobí, např. velikost zrn, stupeň desoxidace, předcházející tepelná zpracování nebo tváření za studena, vliv stopových prvků a řadu dalších. Zejména nízkolegované oceli silně reagují na způsob tavení. Kromě toho mohou mít při stejném C_e různé plastické vlastnosti. Také nebude chování materiálů stejné při obsahu uhlíku např. 0,70% a při $C_e = 0,70\%$. Podle C_e je nutné volit tepelný příkon tak, aby nevznikla v TOO zakalená struktura, která by překročila horní hranici tvrdosti, jež danému materiálu přísluší [4].

Vliv jednotlivých prvků na svařitelnost nízkolegovaných ocelí: [3]

Uhlík – jeho vliv na vznik zákalných struktur je znám, je však nutné počítat s tím, že uhlík s dalšími prvky umožní i při malých ochlazovacích rychlostech vznik zákalných struktur

Mangan – v tuhém roztoku zvyšuje pevnost feritu, politický bod se posouvá k nižším obsahům uhlíku a obsah karbidů se zvýší

Chrom – má vysokou afinitu k uhlíku, a proto snadno vznikají karbidy. Takto vázaný uhlík není schopný difúze, což zvyšuje popouštěcí stálost. Kromě toho chrom příznivě ovlivňuje velikost zrna.

Nikl – ovlivňuje tvorbu jemných karbidů, a tím příznivě ovlivňuje pevnost oceli, nevznikají však žádné karbidy niklu. Jeho ovlivňování tuhého roztoku je v porovnání s manganem nižší.

Molybden – je karbidotvorný prvek (podobně jako chrom). Podstatně snižuje kritickou rychlost ochlazování, takže politická oblast je potlačena ve prospěch bainitu. Jeho přítomností se zvýší popouštěcí stálost. Molybden bývá doprovázen ještě dalšími prvky.

Hliník, vanad, tantal, titan, niob, zirkon – všechny tyto prvky působí příznivě na zjemnění zrna tím, že tvoří krystalizační zárodky. Současně působí deoxidačně a denitrifikačně. Niob, tantal, titan, vanad a zirkon váží uhlík na příslušné karbidy, resp. Na karbonitridy. Jemnozrnná struktura zvyšuje odolnost proti křehkému porušení. Oceli tohoto typu obsahují tyto prvky pouze v setinách procenta.

Měď (obsah asi 0,3%) – způsobuje precipitaci, tzn., že se získá vyšší pevnost, aniž se zhorší svařitelnost. Použití v kotlárenském průmyslu, při svařování větších tloušťek materiálu obvykle nehrozí nebezpečí zakalení. Korozní odolnost oceli proti průmyslové atmosféře je značná, ne však dokonalá.

Při volbě přídavných materiálů pro svařování nízkolegovaných ocelí bychom měli dodržet, aby svarový kov byl legován stejně jako základní materiál. Pokud by TOO nebyla dostatečně plastická, je možné tuto nahradit použitím austenitického svarového kovu. Ten by měl plasticitu TOO zajistit. Oceli určené k cementování se napřed svařují, poté podstoupí proces chemicko-tepelného zpracování. Při hodnocení svařitelnosti nízkolegovaných ocelí se bere v potaz obsah jednotlivých prvků, které slouží k příslušným výpočtům daných ocelí.

např. pro výpočet přehřevu. Tvrdost v TOO by neměla přesáhnout hodnotu $HV = 350$. V případě použití některých ocelí může být tato hodnota posunuta i přes $HV = 400$ [3].

2.5 Studie svařitelnosti materiálů použitých při výrobě páky hydraulického tlumiče

Páka hydraulického tlumiče se skládá ze tří součástí, přičemž dvě (páka a velký čep) jsou výkovky, které jsou následně mechanicky opracované, a malý čep, ten se vyrábí třískovým obráběním z kulatiny. Všechny tyto tři součásti jsou vyrobeny z nízkolegované oceli značky DIN 14NiCr14 (1.5752), dle ČSN 16 420.

Jedná se o chrom-niklovou ocel k cementování. Její tvárnost za tepla je dobrá dobrá, v žíhaném stavu dobře obrobitelná. Vhodná na velmi namáhané strojní součásti, určené k cementování s vysokou pevností a houževnatostí v jádře, např. hřídele, drážkové hřídele, ozubená kola.[13] *Chromniklové oceli používané u nás je možno rozdělit do dvou skupin. Oceli první skupiny obsahují asi 1,5% niklu a 1% chromu. U ocelí druhé skupiny byl zvýšen obsah niklu na 3 až 5%.*“ [8]

„Přísadou molybdenu nebo wolframu k chromniklovým ocelím lze potlačit popouštěcí křehkost. Tyto oceli mají vysokou prokalitelnost, takže již při pouhém ochlazování na vzduchu vzniká v jádře nízkouhlíkový houževnatý martenzit.“ [7]

Tabulka 2. Chemické složení oceli DIN 14NiCr14 (1.5752)

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
0,14 – 0,20	0,3 – 0,6	0,17 – 0,37	0,50 – 0,90	3,20 – 3,70	0 – 0,035	0 – 0,035

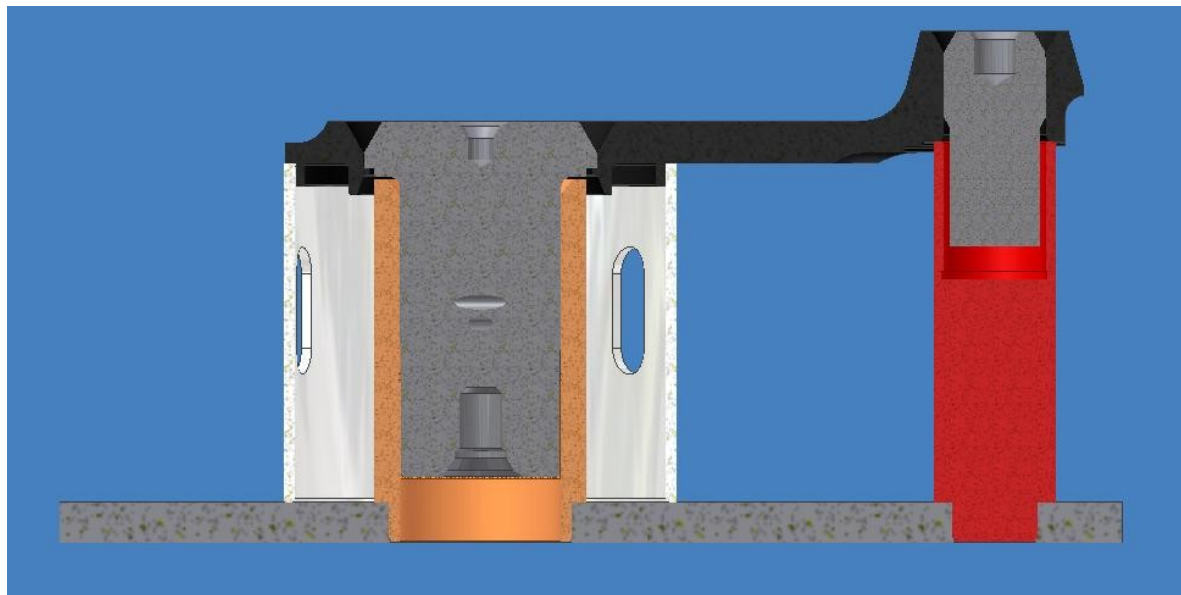
Daný materiál spadá do ocelí třídy 16 se zaručenou svařitelností. Tyto oceli jsou nízkolegované a středně legované soustavy NiCr, NiCrMo, NiCrMoV, NiNb, popřípadě NiW o vyšší hodnotě meze kluzu. Všeobecně se svařují do obsahu 0,28%C, 3,5 % Ni a 1,5 % Cr za dodržení zvláštního postupu svařování.

„Oceli třídy 16 jsou ve většině případů martenzitické. Pro určení podmínek svařování ocelí je výhodné použít jejich izotermických nebo anizotermických diagramů rozpadu austenitu. Oceli svařujeme z důvodu operativní svařitelnosti s přehřevem o 20 až 40°C vyšším než je teplota tvorby martenzitu. Po svařování setrvá předmět na teplotě přehřevu tak dlouho, dokud nepřekročíme čáru úplného rozpadu austenitu (30 minut). Potom svařovaný předmět ochladíme na mezioperační teplotu, tj. 150 až 200°C, a z této teploty

předmět zcela popouštíme, nebo žíháme na nižší teploty popouštění. Dosáhneme tak rozpadu vysokouhlíkového martenzitu, popřípadě rozpadu zbytkového austenitu za současného snížení hladiny napětí.“ [4]

Jsou-li svařované součásti cementovány nebo nitridovány, svařujeme je po žíhání před cementací nebo nitridací [4].

Navrhnutý přípravek, který je na obrázku 3, nebude sloužit pro provedení celého svařovacího procesu, ale použije se pouze k sestavení jednotlivých částí dohromady tak, aby rozměrově odpovídaly technickému výkresu sestavy.

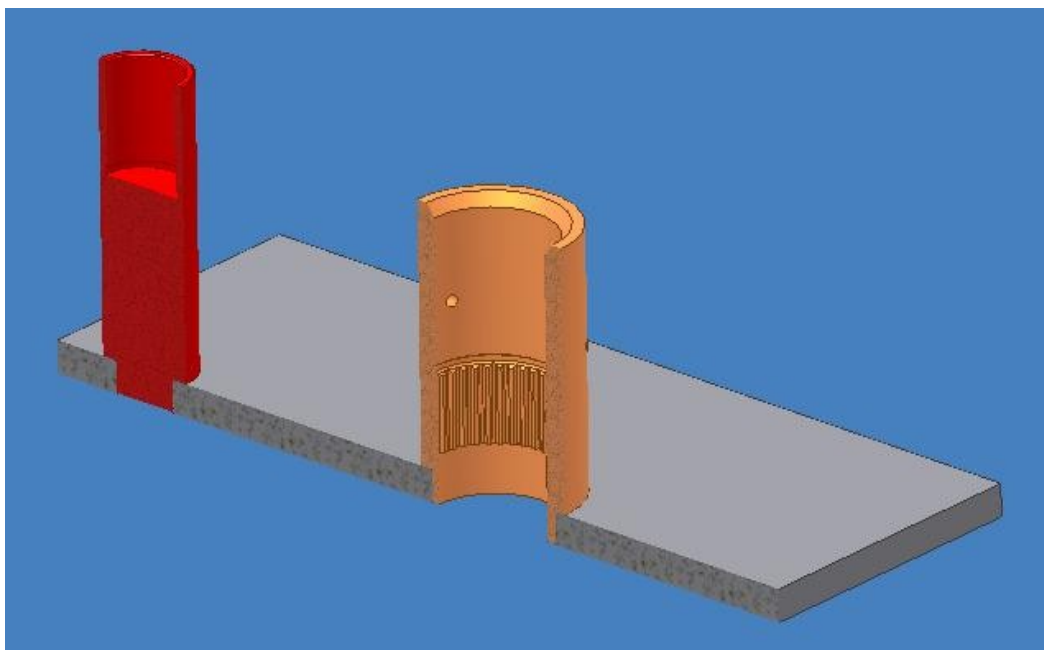


Obr. 3: Řez sestavou přípravku s ustavenou pákou tlumiče

3.2 Svařovací přípravek

Celý přípravek se skládá ze základny, čepu a pouzdra s vnitřním drážkováním. Pro výrobu základny se použije výpalek z plechu silného 20 mm. Tento výpalek se následně mechanicky opracuje na tloušťku 19 mm. Je nutné opracovat jednu stranu výpalku, aby se vytvořila rovina, na kterou se základna otočí a druhá strana se přefrézuje. Zároveň se vytvoří dva otvory, to vše na jedno upnutí, aby byla dosažena požadovaná rozměrová a geometrická přesnost. Důležitá je kolmost otvorů k horní ploše základny a jejich osová vzdálenost ($242 \pm 0,1\text{mm}$).

Uložení čepu v základně bude s přesahem (H7/r6), toto uložení je zcela žádoucí, nebude nutné přidávat upínací element. U čepu není nutné zajišťovat vertikální polohu, důležitá je poloha horizontální, ta se zajistí při nalisování tak, že se opře osazení čepu o horní část základny. Uložení drážkovaného pouzdra v základně je s malou vůlí (H7/g6) z důvodu snadného vložení pouzdra a následného natočení otvorů dle výkresu. Abychom zajistili pouzdro proti posuvu a otočení, přistehujeme jej koutovými svary k základně. Na obrázku 4 je znázorněn řez přípravkem.



Obr.4: Svařovací přípravek v řezu

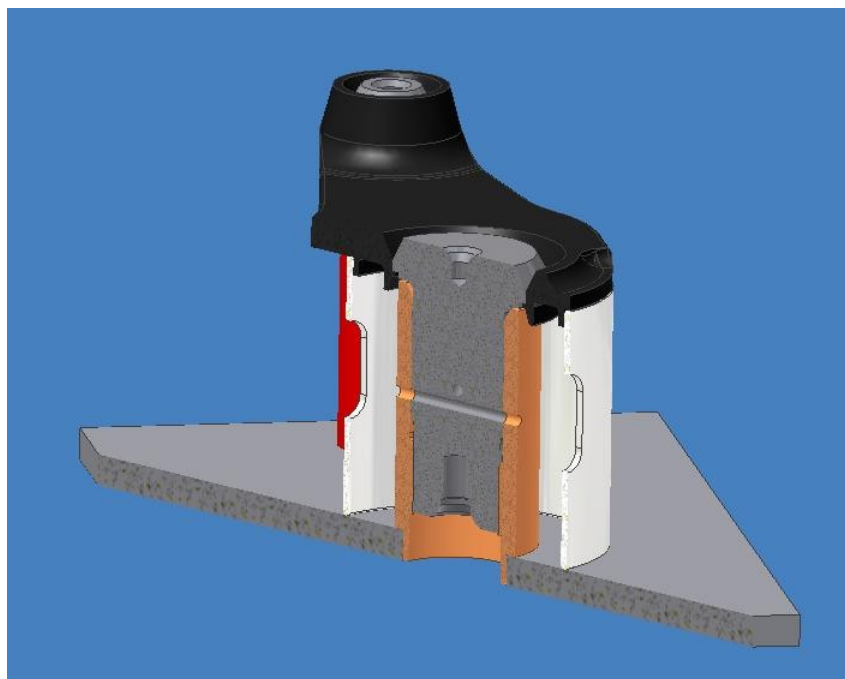
3.3 Sestavení polotovaru svařence

Sestavení polotovaru svařence začíná nalisováním malého čepu ($\varnothing 48_{-0,12}^{0,08}$) do otvoru v páce ($\varnothing 48_{-0,24}^{0,19}$), jedná se o spojení s přesahem, které nám zajistí správnou polohu čepu v páce. Po zalisování musí být dosažen rozměr $(49 \pm 0,5)$ uvedený na výkrese.

Tato podsestava se následně vloží do svařovacího přípravku tak, že se malý čep zasune do otvoru čepu ($\varnothing 48 \text{ H7}$) a druhá strana páky, na které je osazení, se vsune do ustavovací trubky položené na horní části základny. Tato trubka zajišťuje výškový rozměr páky, zároveň slouží jako ochrana čepu a spodní strany páky, na které jsou funkční plochy před přitavením odlétajících kuliček vznikajících při svařování.

Velký čep se vloží do druhého otvoru v páce a zároveň se zasune do pouzdra s vnitřním drážkováním. Jeho horizontální poloha vůči páce je zabezpečena „zámkem“ a vertikální polohu zaručí pouzdro. Pootočení čepu v páce není libovolné, z výrobního výkresu svařence je vidět natočení dvou otvorů ve velkém čepu vůči ose páky. Po vložení velkého čepu musí být tyto díry průchozí přes pouzdro, které má v sobě díry stejně rozložené. Pokud otvory nejsou průchozí, je nutné čep vytáhnout a pootočit.

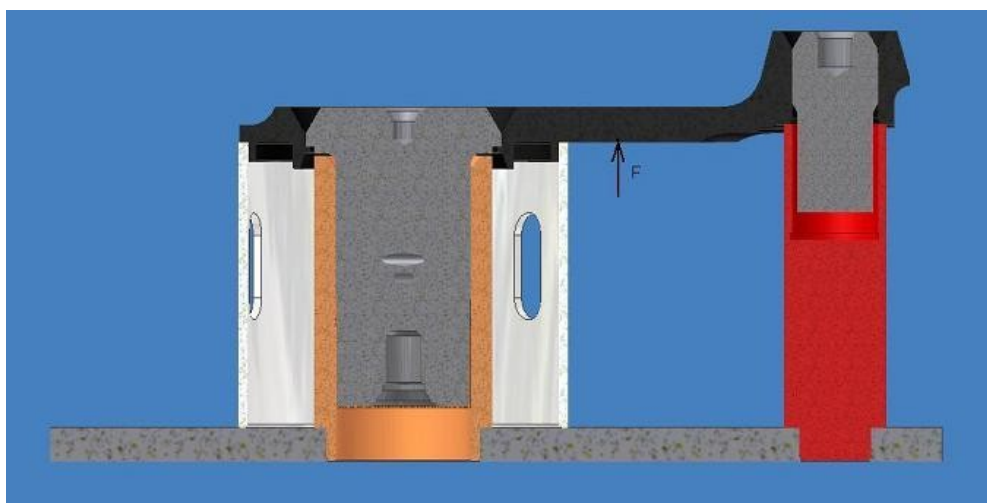
Podsestava a velký čep se před složením předehtávají na teplotu 100°C , aby nedocházelo ke vzniku trhlin při následném stehování.



Obr. 5: Řez sestavou pro kontrolu sousosti otvorů

3.4 Provedení stehování velkého čepu a páky

Po sestavení polotovaru páky v přípravku je nutné provést stehování velkého čepu a páky, protože samotné zavaření se provede pomocí otočného svařovacího stolu. Celkem se provedou 4 stehy o délce 10mm, pootočené o 90°, v místě kořene budoucího svaru. Pro snadné vyjmutí hotového polotovaru svařence z přípravku poslouží nůžkový zvedák, který se umístí mezi velký a malý čep, jak je znázorněno na obrázku 6. Použití zvedáku je praktické, aby nedocházelo k přičení polotovaru v přípravku.



Obr. 6: Působící síla od nůžkového zvedáku



Obr. 7: Polotovar svařence po stehování

3.5 Upevnění polotovaru svařence při svařování

Sestavený polotovar se bude upínat při svařování na otočný svařovací stůl. Jeho velkou výhodou je možnost nastavení sklonu svařence, v našem případě bude stůl natočen do horizontální polohy. Na stole je upevněna soustružnická hlava a v ní je uchycen šroub se závitem M24. Na něj se našroubuje polotovar pomocí velkého čepu, na jehož spodní straně je otvor se závitem M24. Osa velkého čepu bude společná s osou otočného stolu, což je zcela nezbytné pro jeho zavaření. Malý čep se musí zavařit ručně z důvodu vyosení od otočného stolu.



Obr. 8: Polohovatelný a otočný svařovací stůl [14]

4. Detailní technologický postup svařování páky tlumiče

4.1. Svařovaný materiál

Materiál svařovaných součástí páky je nízkolegovaná ocel DIN 14NiCr14 (1.5752), dle ČSN 16 420. Jedná se o Cr-Ni ocel k cementování, která je vhodná na velmi namáhané strojní součásti.

Tabulka č.3: Chemické složení oceli DIN 14NiCr14 (1.5752)

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
0,14 – 0,17	0,3 – 0,6	0,17 – 0,37	0,50 – 0,90	3,20 – 3,70	0 – 0,035	0 – 0,035

Mechanické vlastnosti:

- Mez kluzu $R_{p0,2} = 735$ až 835 MPa
- Mez pevnosti $R_m = 880$ až 1320 MPa
- Tažnost $A_5 = 10$ %
- Nárazová práce $KV = 50$ J
- Modul pružnosti $E = 210$ GPa

Tepelně- fyzikální vlastnosti:

- Měrná hmotnost $\rho = 7,85$ g.cm⁻³
- Teplota tavení $T_{\text{tav.}} = 1506$ °C
- Měrná tepelná vodivost $a = 9,42 \cdot 10^{-6}$ m².s⁻¹
- Objemový tepelný obsah $\rho c = 3,61 \cdot 10^6$ J.m⁻³.K⁻¹
- Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 34$ W.m⁻¹.K⁻¹
- Latentní teplo tavení $L = 2,1 \cdot 10^9$ J.m⁻³
- Měrná tepelná kapacita $c = 460$ J.kg⁻¹.K⁻¹

Tepelné zpracování součástek páky:

Páka (č.v. 467-327-20-1) – HB 321÷269

Velký čep (č.v. 467-327-20-2) – HB 321÷269

Malý čep (č.v. 467-327-20-3) – jádro (45÷40 HRC)

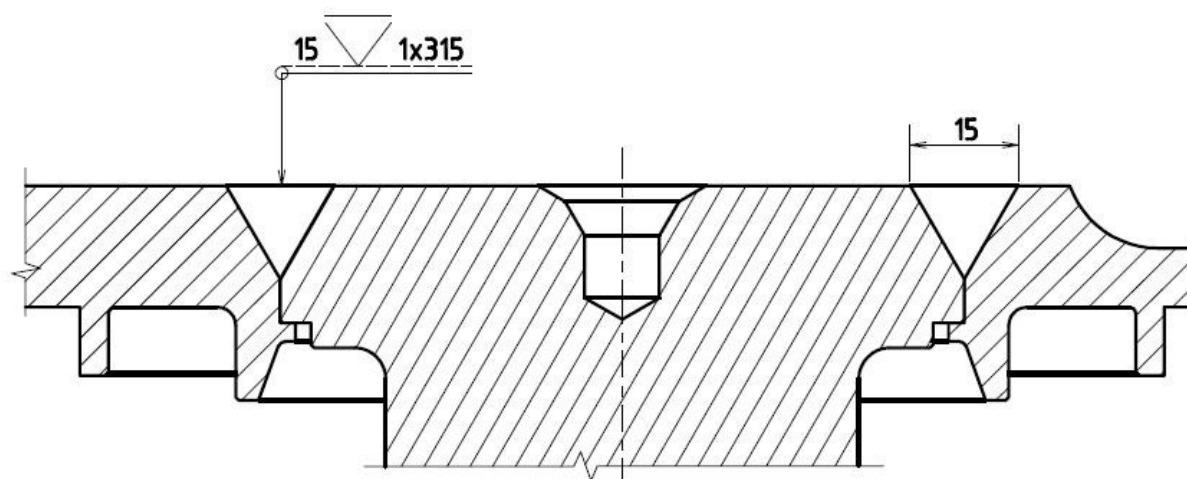
– povrch cementovaný (hl. 1,6÷2,2 mm ; HRC≥58)

Při výrobě páky tlumiče se používá velký čep ze starého provedení páky, která měla jiný tvar, z důvodu snížení nákladů na výrobu. Proces výroby velkého čepu začíná rozřezáním staré páky na půl, poté se tento polotovar vloží do soustruhu, kde se odsoustruží svár a velký čep se obrobí dle výrobního výkresu.

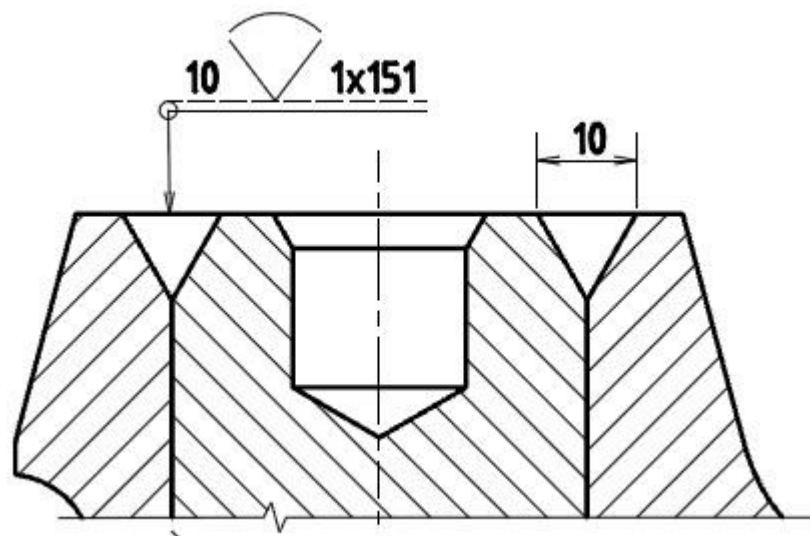
4.2 Metoda svařování:

Pro svaření jednotlivých součástí jsem zvolil metodu svařování 135, čili metodu obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu CO_2 . Součinitel účinnosti svařovacího procesu u této metody je 0,8. Poloha při svařování je poloha vodorovná shora, čili poloha PA.

4.3 Úprava svarových ploch:



Obr. 9: Úprava svarových ploch velkého čepu a páky



Obr. 10: Úprava svarových ploch malého čepu a páky

Svarové plochy mají tvar V (60°). Všechny tři svařované součásti jsou třískově obráběny, tudíž jsou při tomto procesu výroby chlazený vodou smíchanou s emulzním olejem, je tedy nezbytně nutné všechny tyto součásti před samotným svařováním odmastit, z důvodu čistoty svarových ploch.

4.4 Volba přídavného materiálu:

Jako přídavný materiál volím svařovací drát OK Aristorod 13.12 z katalogu firmy ESAB, jehož chemické složení je v tabulce 4. Jedná se o nízkolegovaný drát pro svařování nízkolegovaných ocelí s vyšší pevností. Tento drát je vhodný pro svařování v ochranné atmosféře plynu Ar/CO₂, je však možné použít i čistý CO₂.

Mechanické vlastnosti:

- Mez kluzu Re= 450 MPa
- Mez pevnosti Rm=580 Mpa
- Tažnost A5= 24 %

Tabulka č.4. Chemické složení drátu OK AristoRod 13.12 [12]

C	Mn	Si	Cr	Mo
0,10	1,00	0,60	1,10	0,50

4.5 Svařovací parametry:

- Svařovací proud $I = 275 \text{ A}$
- Svařovací napětí $U = 29 \text{ V}$
- Svařovací rychlost $v = 4 \text{ mm.s}^{-1}$
- Průměr svařovacího drátu $d_d = 1,2 \text{ mm}$
- Tloušťka svařovaných součástí $s = 18 \text{ mm}$

4.6 Volba ochranné atmosféry

Pro vybraný svařovací drát použijeme směs plynů Ar/CO₂ (M21 dle ČSN EN ISO 14175), poměr směsi je 80% Ar, 20% CO₂. Spotřeba plynu pro průměr drátu 1,2 mm by podle výrobce měla být 18 l/min.

4.7 Výpočet teploty předehřevu svařovaných materiálů

Výpočet uhlíkového ekvivalentu:

$$C_{E(IIW)} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (1)$$

$$C_{E(IIW)} = 0,17 + \frac{0,6}{6} + \frac{0,9+0+0}{5} + \frac{3,7+0}{15}$$

$$C_{E(IIW)} = 0,697 \%$$

a) Výpočet teploty předehřevu dle Seferiana:

$$C_c = \frac{360 \cdot C + 40 \cdot (Mn + Cr) + 20 \cdot Ni + 28 \cdot Mo}{360} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{360 \cdot 0,17 + 40 \cdot (0,6 + 0,9) + 20 \cdot 3,7 + 28 \cdot 0}{360}$$

$$C_c = 0,542 \%$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c \quad (3)$$

$$C_s = 0,005 \cdot 18 \cdot 0,531$$

$$C_s = 0,04878$$

$$C_p = C_s + C_c \quad (4)$$

$$C_p = 0,04878 + 0,542$$

$$C_p = 0,59078$$

Teplota předehřevu dle Seferiana:

$$T_{p1} = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25} \quad (5)$$

$$T_{p1} = 350 \cdot \sqrt{0,59078 - 0,25}$$

$$T_{p1} = 204 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b) Výpočet teploty předehřevu podle ČSN EN 1011-2 – metoda B

Tato metoda platí pro uhlíkový ekvivalent CET = 0,2÷0,5 %

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (6)$$

$$CET = 0,17 + \frac{0,6 + 0}{10} + \frac{0,9 + 0}{20} + \frac{3,7}{40}$$

$$CET = 0,368 \%$$

Teplota předehřevu se stanovuje výpočtem, který zahrnuje:

- *vliv chemického složení*

$$T_{pCET} = 750 \cdot CET - 150 \quad (7)$$

$$T_{pCET} = 750 \cdot 0,368 - 150$$

$$T_{pCET} = 126 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- *vliv tloušťky svařovaných materiálů d [mm]*

$$T_{pd} = 160 \cdot \tan\left(\frac{d}{35}\right) - 110 \quad (8)$$

$$T_{pd} = 160 \cdot \tan\left(\frac{18}{35}\right) - 110$$

$$T_{pd} = -108,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- *vliv obsahu difuzního vodíku HD ve svařovém kovu v [ml·100g⁻¹]*

$$T_{pHD} = 62 \cdot HD^{0,35} - 100 \quad (9)$$

$$T_{pHD} = 62 \cdot 7^{0,35} - 100$$

$$T_{pHD} = 22,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- vliv tepelného příkonu

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

kde: k...koeficient tepelné účinnosti metody svařování

U...napětí při svařování [V]

I...intenzita svařovacího proudu [A]

v...rychlost svařování [mm·s⁻¹]

$$Q = 0,8 \cdot \frac{275 \cdot 29}{4} \cdot 10^{-3}$$

$$Q = 1,595 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$T_{pQ} = (53 \cdot CET - 32) \cdot Q - 53 \cdot CET + 32 \quad (11)$$

$$T_{pQ} = (53 \cdot 0,368 - 32) \cdot 1,595 - 53 \cdot 0,368 + 32$$

$$T_{pQ} = -6,71 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- výpočet teploty přehřevu

$$T_{p2} = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ} \quad \text{pozn: záporné hodnoty neberu v úvahu a jejich} \quad (12)$$

$$T_{p2} = 126 + 0 + 22,5 + 0 \quad \text{hodnotu položím rovnu 0}$$

$$T_{p2} = 148,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Při výpočtech jsem zjistil teplotu přehřevu dle Seferiana hodnotu 204 °C, metodou „b“ dle ČSN EN 1011-2 teplotu 148,5°C. Zvolil jsem hodnotu přehřevu 200°C. Pro přehřev bude použita elektrická pec s topnými spirálami. Rychlost ohřevu na požadovanou teplotu bude 100°C/hod, z důvodu rovnoměrného ohřátí polotovaru svařence. Zjištění teploty svařence provedeme pomocí bezdotykového teploměru.

4.8 Stanovení teploty dohřevu

4.8.1 Náchylnost svarového spoje na studené trhliny

Předběžné zjištění, zda je příslušná ocel náchylná na studené, vodíkem indukované trhliny, lze určit pomocí parametru praskavosti P_W . Oceli, které nejsou náchylné na vznik studených trhlin, když je hodnota $P_W < 0,3$.

K výpočtu je potřeba znát hodnotu uhlíkového ekvivalentu, která se stanoví podle navržené parametrické rovnice dle Ita a Bessyo.

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B \quad (13)$$

$$P_{CM} = 0,17 + \frac{0,37}{30} + \frac{0,6}{20} + \frac{0}{20} + \frac{0,9}{20} + \frac{3,7}{60} + \frac{0}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot 0$$

$$P_{CM} = 0,32$$

K výpočtu je potřeba znát množství difúzního vodíku, který se stanoví glycerinovou zkouškou. Pro metodu svařování 135 je množství difuzního vodíku $H_{D(gl)} = 6 \text{ ml/100g}$.

$$P_W = P_{CM} + \frac{H_{D(gl)}}{60} + \frac{K}{40 \cdot 10^4} \quad (14)$$

$$P_W = 0,32 + \frac{6}{60} + \frac{1242}{40 \cdot 10^4}$$

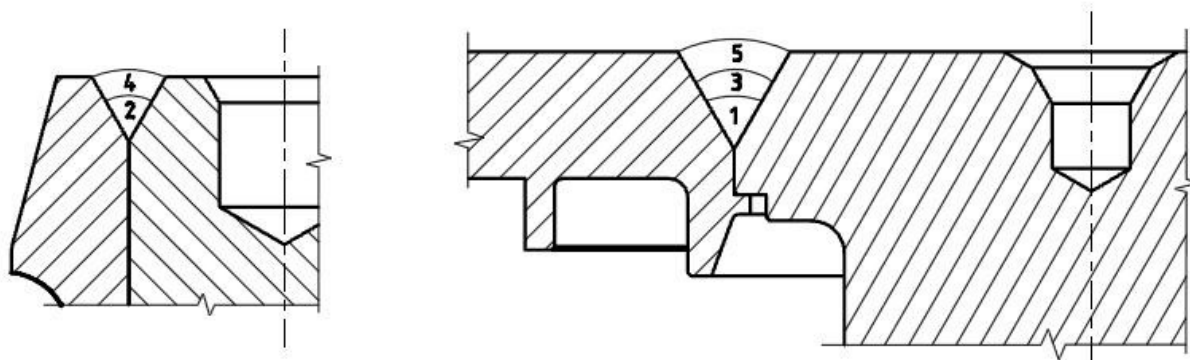
$$P_W = 0,48$$

Jelikož je hodnota parametru $P_W > 0,3$, lze říci, že daná ocel je náchylná na vznik studených trhlin. To je způsobeno vysokou hodnotou uhlíkového ekvivalentu.

4.8.2 Určení teploty dohřevu

Dohřev svarových spojů se používá především na odstranění difuzního vodíku ze svarového spoje, čímž se zamezí vzniku trhlin za studena. Jelikož předmětná ocel DIN 14NiCr14 (1.5752) je náchylná na vznik studených trhlin, volím dohřev svařence páky na teplotu 220 °C, protože při teplotách pod 200 °C dochází k rekombinaci vodíku a z atomárního vodíku se stává vodík molekulární. Po svařování se svařenec nesmí ochladit na teplotu nižší, než je stanovená, proto je nezbytně nutné dohřev aplikovat ihned po ukončení svařování. Dobu výdrže na této teplotě volím 3 hodiny.

4.9 Provedení svaru



Obr. 11: Schéma kladení svarových vrstev

Po vyjmutí polotovaru svařence z pece se tento našroubuje na šroub pomocí závitů M24 na spodní straně velkého čepu. Tento šroub je upnutý v soustružnické hlavě, která je připevněna k otočnému stolu.

Postup kladení svarových housenek je znázorněn na obrázku 11, jako první se zavaří kořen svaru u velkého čepu a páky, poté kořen u malého čepu. Po skončení svařování se páka vloží do dohřívací pece na dobu tří hodin při teplotě 220°C.

Pro provedení svaru bude použit svařovací stroj Origo Mig /C340 PRO od firmy Esab. Tento stroj je určen pro středně náročné aplikace, pracuje s dvou nebo čtyř kladkovým padavačem. V tabulce č.5 jsou uvedeny jeho parametry.

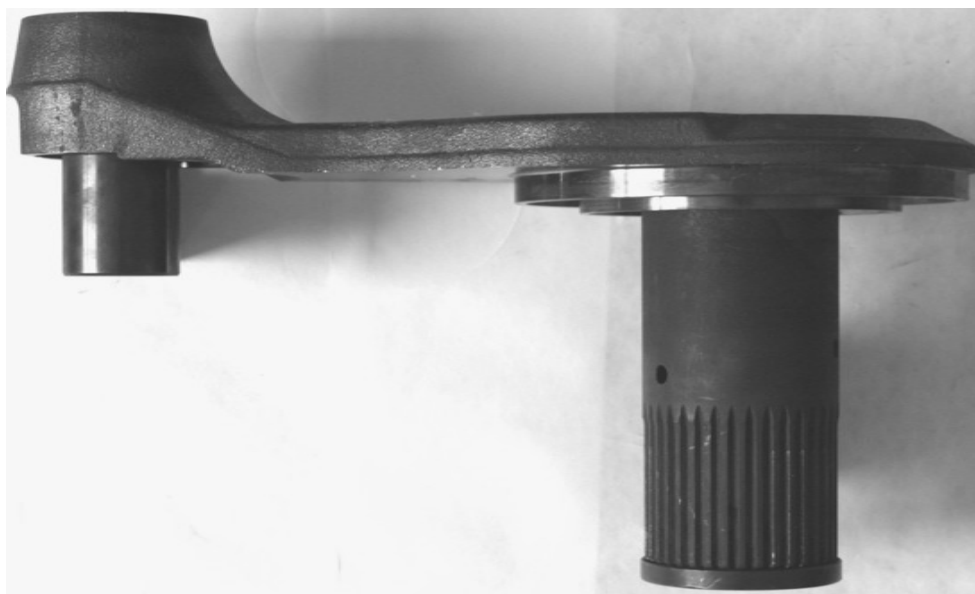
Tabulka č.5: Parametry použitého stroje

Hmotnost (kg)	114
Hlavní přívod (V/Hz)	400-415 50/60
Max. výstup při 60% DZ, (A)	250
Max. výstup při 100% DZ, (A)	195
Napětí naprázdno (V)	16-40
Rozsah nastavení, (A)	40-340
Rychlost podávání, (m/min)	1,9-20

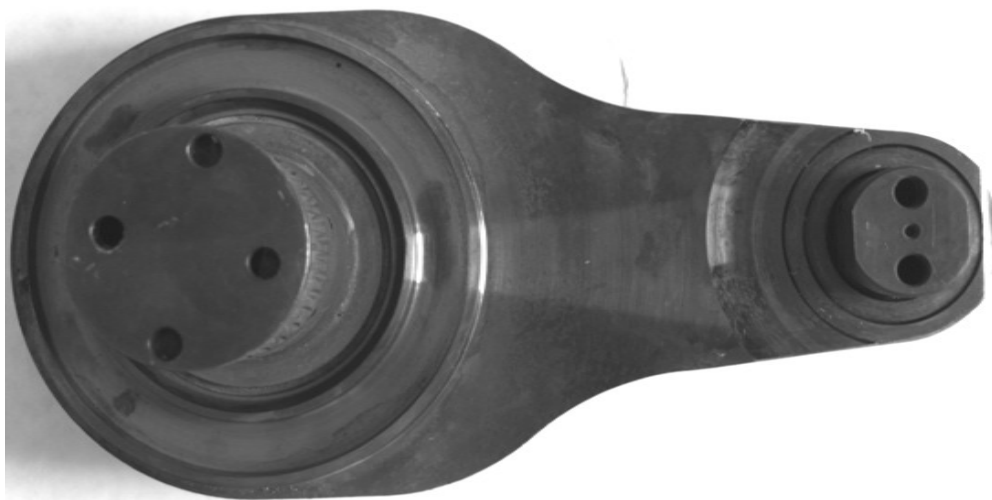
5. Ověření vlastností svarového spoje

5.1 Popis zkoumaného kusu a provedené zkoušky

Pro provedení zkoušek byl vybrán vzorek páky tlumiče, která byla vyrobena v první sérii 5-ti kusů. Tento postup je zcela nezbytný pro zjištění případných vad ve svarovém spoji, jejich následného řešení a zlepšení technologického postupu. Na obrázku 12 a 13 je vidět celkový pohled na vybranou páku tlumiče.



Obr. 12: Boční pohled na páku tlumiče



Obr. 13: Spodní pohled na páku tlumiče

Provedené zkoušky na svařenci:

- Vizuální zkouška
- Nedestruktivní zkouška PT – penetrační
- Nedestruktivní zkouška RTG – prozářením
- Makrostrukturní hodnocení kvality svarových spojů
- Melografický rozbor mikrostruktury v místě svarů
- Stanovení profilu tvrdosti přes svarový spoj
- Provedení tahové zkoušky svarového spoje velkého čepu při laboratorní teplotě

5.2 Vizuální zkouška

Vizuální zkouška byla provedena dle normy pro přípustnost defektů podle ČSN EN ISO 5817. Tato norma určuje přesný postup při zjišťování vad pouhým okem. Po provedení této zkoušky nebyly zaznamenány žádné viditelné vady na povrchu svaru.

5.3 Provedení penetrační zkoušky (PT)

Touto metodou je možné zjistit pouze vady na povrchu zkoušené součásti. Jako první se provede mechanické očištění povrchu, poté se aplikuje penetrační látka, která se nechá působit asi 10 minut. Po této době bylo nutné vyvolat indikaci nanesením vývojky (suché – naprašováním, mokré - natíráním, nástřikem). Vyhodnocení se provádí vizuálně ihned po nanesení vývojky při denním světle o intenzitě 500 luxů.

Při této zkoušce, která byla provedena podle normy ČSN 015016, byly zjištěny nedostatky především při ukončení svarové housenky, kdy se na jejím konci objevily kráterové trhliny z důvodu špatného ukončení svařování. Tyto trhliny se objevily jak u spoje velkého čepu a páky, tak malého čepu a páky. Zbytek svarového povrchu byl bez vad.

5.4 Provedení nedestruktivní zkoušky prozářením (RTG)

Tato zkouška byla provedena podle normy ČSN EN 12517. Po jejím provedení byly zjištěny vady ve svarovém spoji. Hlavními nedostatky byl neprovařený kořen svaru, malé trhlínky a póry ve svarovém kovu, což znamená, že svarový spoj **nevyhověl**.

5.5 Příprava vzorků pro destruktivní zkoušky

Pro přípravu vzorků byla použita pásová pila. Na obrázku č.14 jsou znázorněna místa, odkud jsou vzorky odebrány a na jakou zkoušku budou použity. Pro snadnější manipulaci při řezání bylo nutné jako první uřezat velký čep. Při řezání bylo patrné, že v místě TOO je pomalejší prořez pilou, což naznačovalo zvýšenou tvrdost v tomto místě.



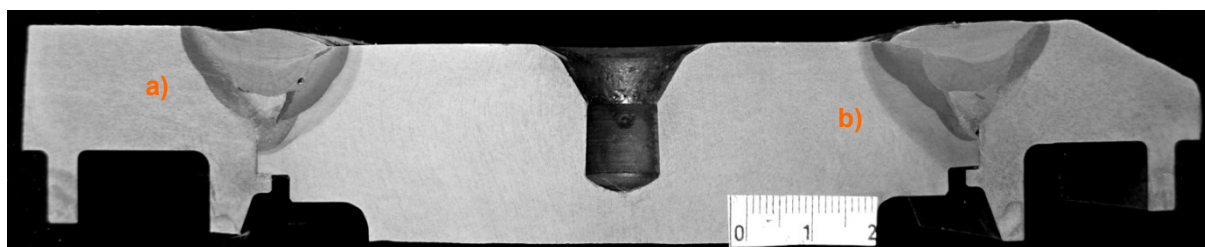
Obr. 14: Oblasti přípravy vzorků pro jednotlivé experimenty

5.6 Vyhodnocení rozborů

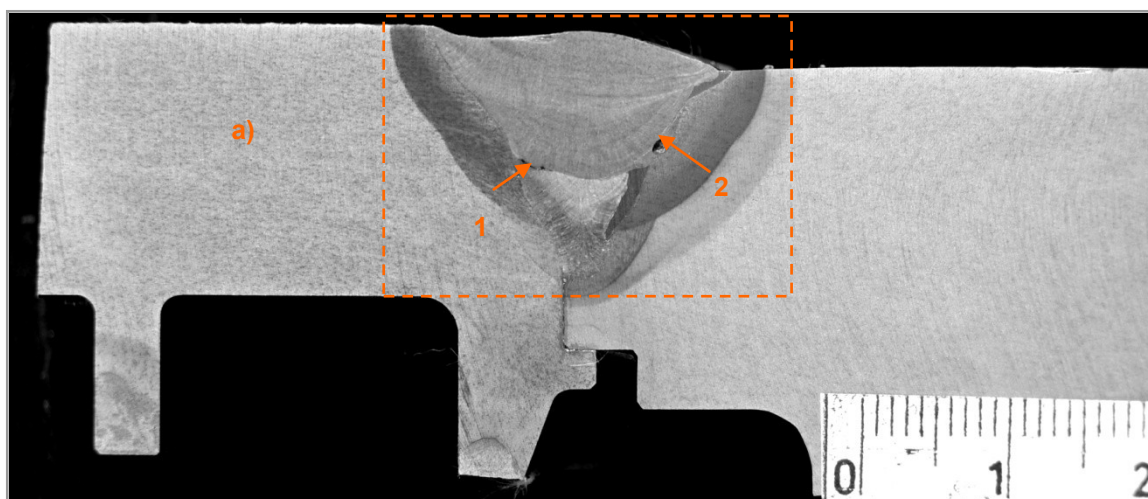
5.6.1 Makrostrukturní hodnocení kvality svarového spoje

Metalografické výbrusy „A“ a „B“ určené pro vyhodnocení makrostruktury byly připraveny na ploše šrafované na obrázku 14 červeně.

Leptáním makra „A“ v 10% roztoku kyseliny dusičné se zviditelnila rovnoměrná struktura základních materiálů (ZM), tepelně ovlivněná oblast (TOO) svarového spoje přiléhající ke svarovému kovu (SK) a jednotlivé vrstvy svarových housenek.



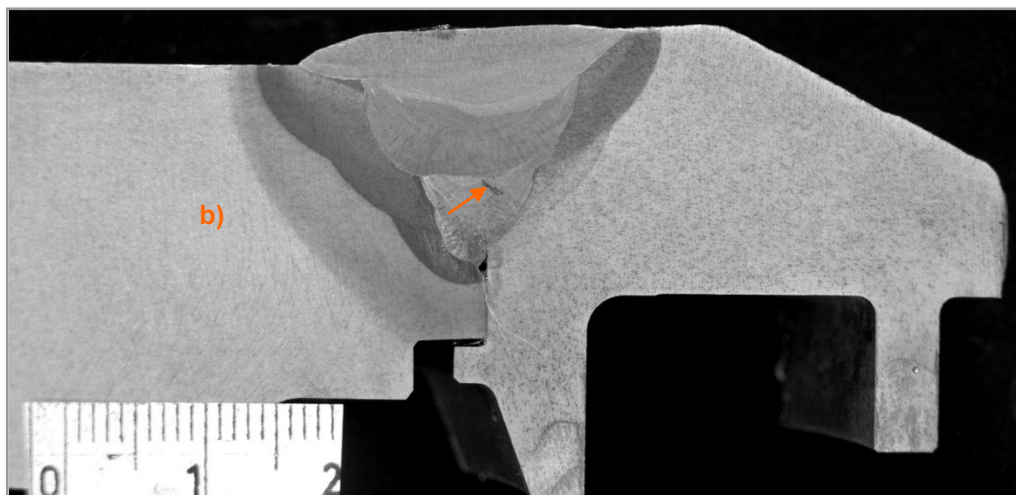
Obr.15: Vzorek A – makrostruktura (zvětšeno 0,85x)



Obr. 16 Detail „a“ svarového spoje (zvětšeno 1,82x)

Na detailu svarového spoje na obrázku 16 je možno vidět studený spoj v místě mezi první a druhou svarovou housenkou (šipka 1), dále pak dutinu v oblasti pásma ztavení mezi svarovým kovem a velkým čepem. Přerušovaná čára značí místo, které bylo vybráno pro metalografický rozbor.

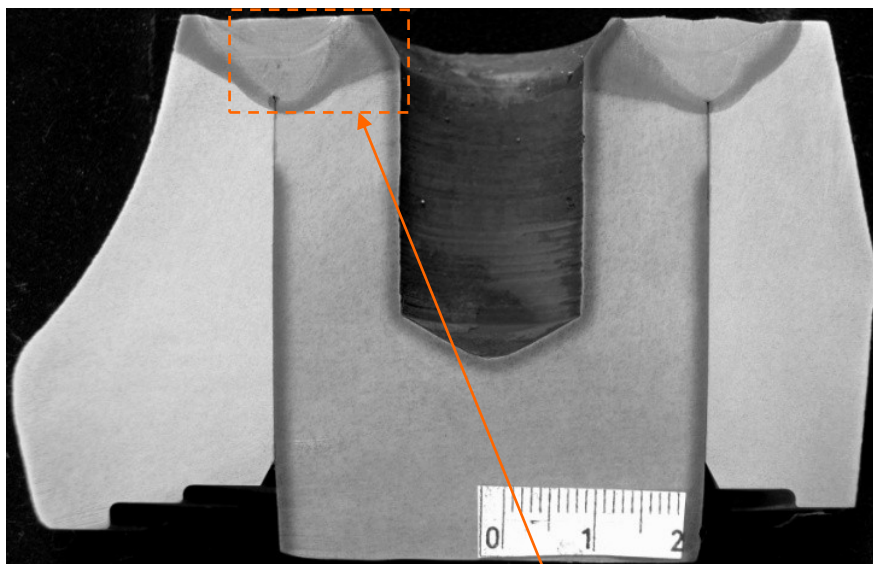
Na detailu „b“ je možno vidět trhlínu v místě, kde ukazuje šipka, zároveň je možno vidět neprovařený kořen. Tepelně ovlivněná oblast (TOO) velkého čepu byla z obou stran svarového spoje nestejnorodá, jak je možno pozorovat na obr. 16 a 17. Podle odlišně se leptajících pásem v TOO velkého čepu lze usuzovat, že se jedná o dvojí tepelné ovlivnění způsobené opakovaným svařováním, z důvodu druhého použití velkého čepu při výrobě nového typu páky tlumiče.



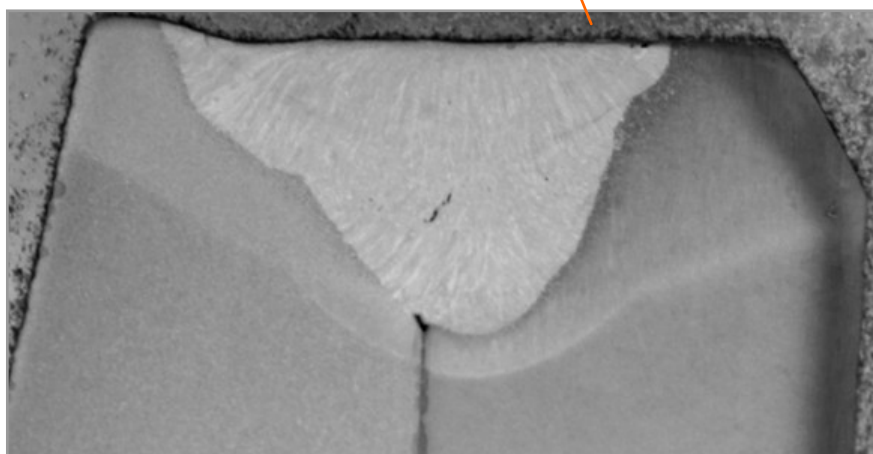
Obr. 17 Detail „b“ svarového spoje (zvětšeno 1,82x)

Hodnocení výskytu vad u svarového spoje bylo provedeno na základě normy ČSN EN ISO 5817. V hodnoceném řezu A byly v obou místech svaru pozorovány defekty, viz šipky na obr. 16 a 17. V místě vyznačeném šipkou 1 na obrázku 16 byla detekována necelistvost odpovídající studenému spoji mezi svarovými housenkami délky cca 1,8 mm; tato vada vyhovuje pouze stupni klasifikace D (ČSN EN ISO 5817). V blízkosti pásma ztavení mezi svarovým kovem a velkým čepem byla detekována oválná dutina max. délky 1,28 mm, která nepřesahovala limitní hodnoty předepsané normou. U druhého svaru v řezu A (obr. 18) byla ve svarovém kovu detekována trhlina délky cca 2 mm. Všechny trhliny, které je možné pozorovat již při vizuální kontrole svaru, jsou podle předpisu normy ČSN EN ISO 5817 **nepřípustné**. V místě pásma ztavení mezi první a třetí svarovou housenkou s velkým čepem byla detekována cizí, těžce se leptající kovová hmota. Po bližším zkoumání se zjistilo, že se jedná o zbytek svarového kovu, který zůstal na velkém čepu i po třískovém obrábění. V kořeni svaru velký čep-páka se vyskytovaly drobné dutiny, které odpovídají technologickým neprůvarům.

Ve studovaném řezu B bylo podél povrchu malého čepu pozorováno tmavěji se leptající pásmo, jedná se o nacementovanou část čepu. Šířka tepelně ovlivněných oblastí byla z obou stran svarového spoje nerovnoměrná. U části svaru ohraničené na obr. 18 rámečkem (také viz detail na obr. 19) byla zjištěna drobná trhlina přibližné délky 2 mm. Tato vada detekovaná ve svarovém kovu je rovněž **nepřípustná**.



Obr.18: Vzorek B – makrostruktura (zvětšeno 0,85x)



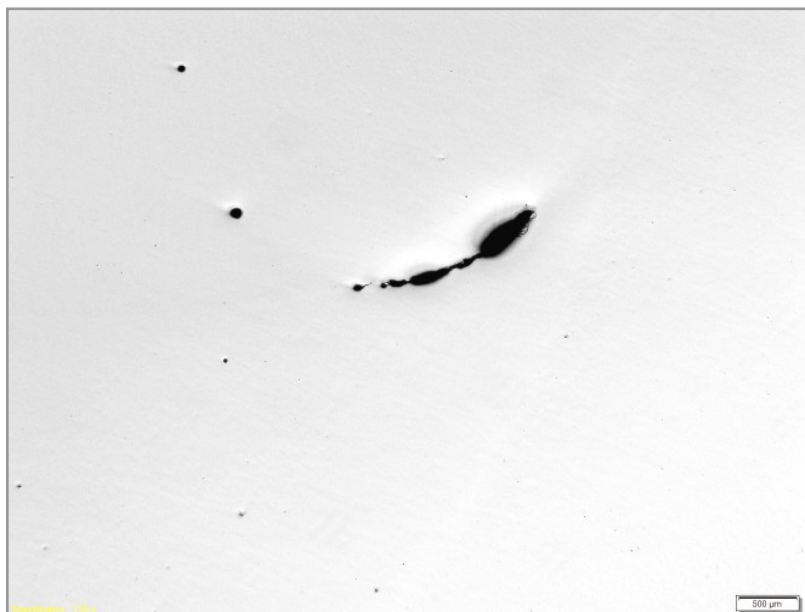
Obr.19: Detail svarového spoje (viz rámeček na obr. 18), zv. 2,4x

5.6.2 Metalografický rozbor mikrostruktury

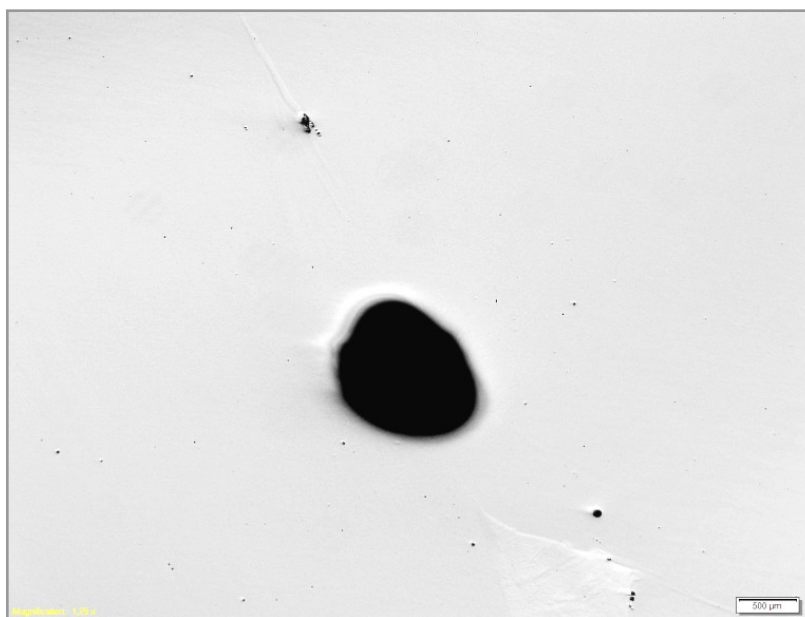
Oblast přípravy metalografických výbrusů určených pro kvalitativní rozbor mikrostruktury je vyznačen na obrázcích 16 a 18. Následně jsou shrnuty výsledky pro jednotlivé vzorky.

Vzorek A – svar velký čep/páka

Na vyleštěné ploše vzorku A byly pozorovány drobné, převážně bodové vměstky. V oblasti svarového spoje bylo zaznamenáno několik necelistvostí odpovídající studenému spoji (obr. 20) a velkému póru (obr. 21).

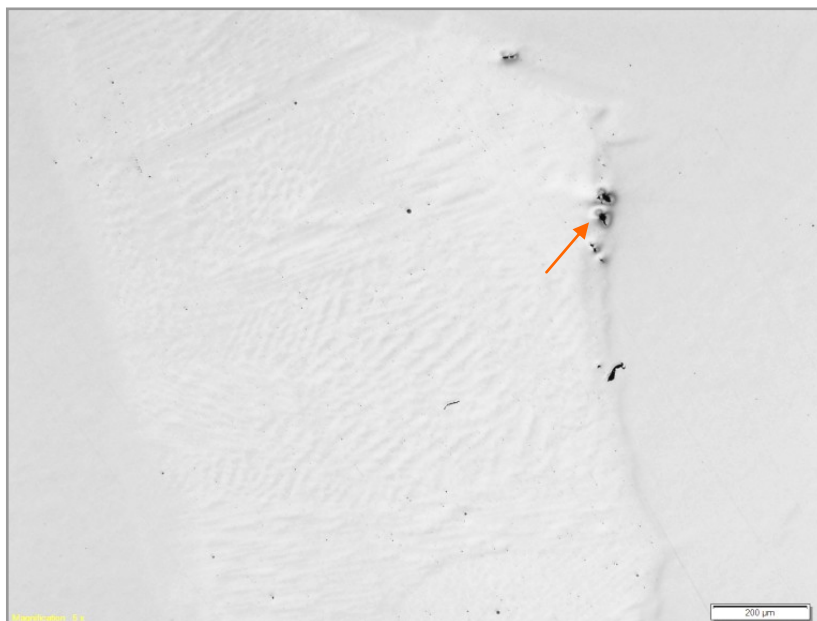


Obr. 20: Trhlina mezi svarovými housenkami, vyleštěný stav, (zvětšeno. 12,5x)



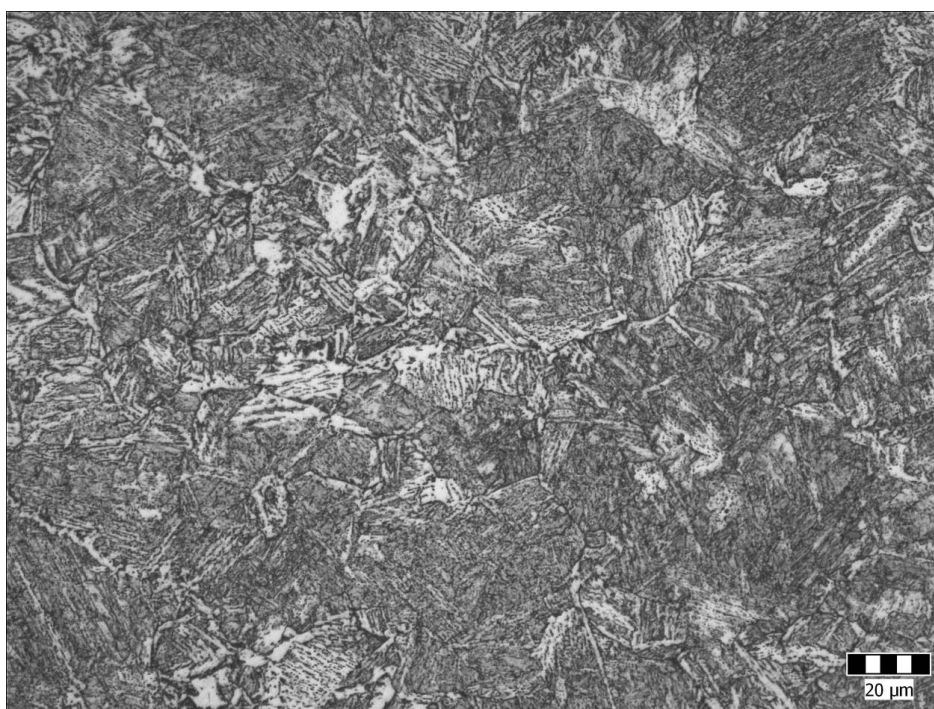
Obr. 21: Dutina vzniklá po vypadnutí struskového vměstku, zv. 12,5x

Některé další pozorované dutiny mohly také vzniknout odstraněním struskových vměstků v průběhu metalografické přípravy výbrusu. Na rozhraní mezi svarovým kovem a velkým čepem, bylo zjištěno několik dalších drobných dutin přípustné velikosti (šipka na obr. 22).

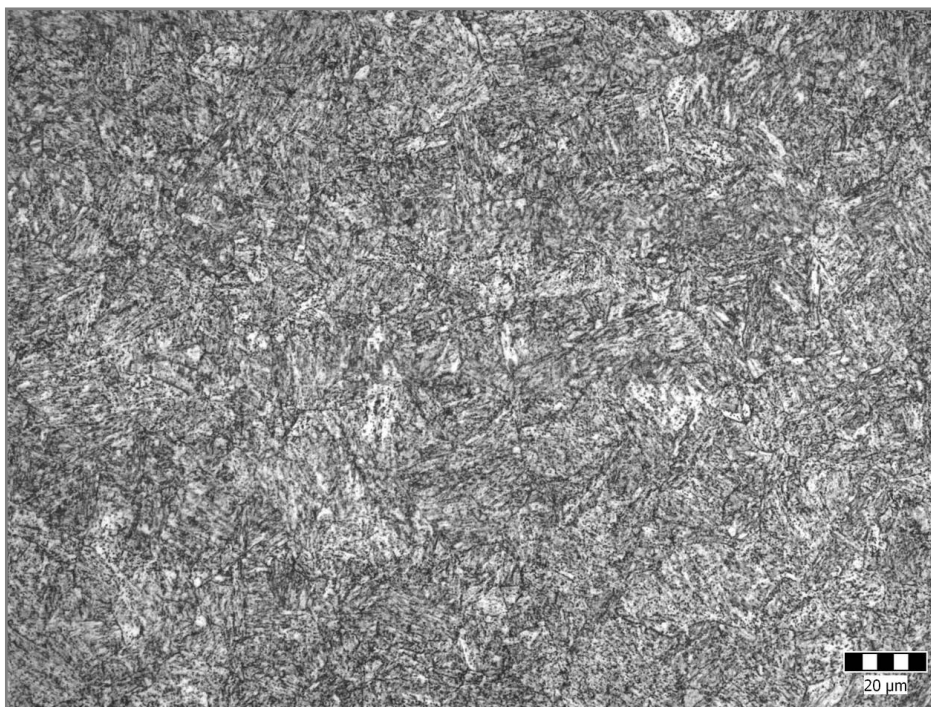


Obr. 22 Šipka - drobné dutiny na rozhraní SK/velký čep, zv. 50x

Mikrostruktura páky a velkého čepu byla podobná, tvořená popuštěnou základnou složkou, obr. 23 - 24.



Obr. 23 Mikrostruktura páky (vzorek A – zvětšeno 500x)

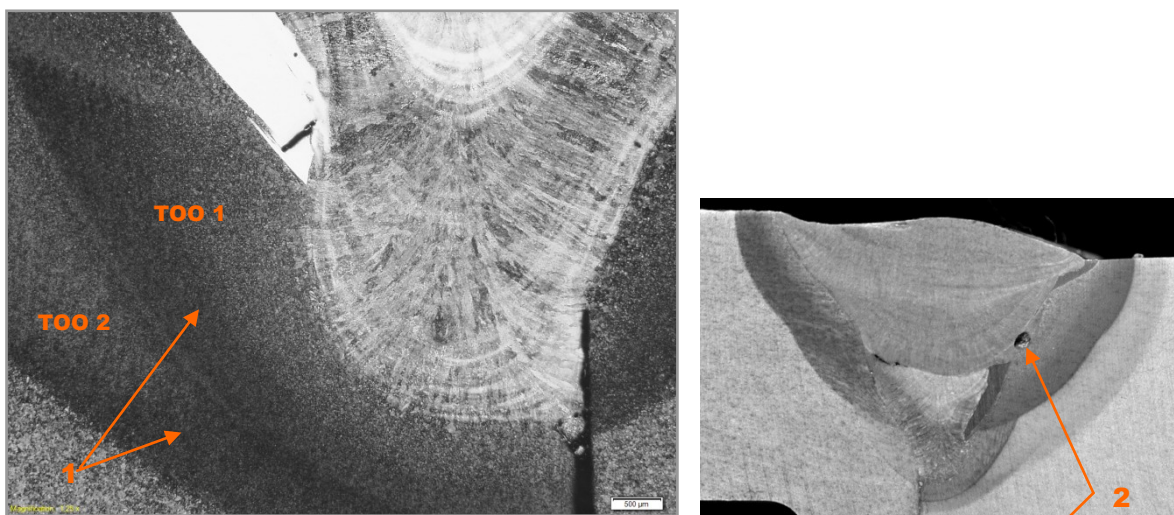


Obr. 24: Mikrostruktura velkého čepu,(zv. 500x)

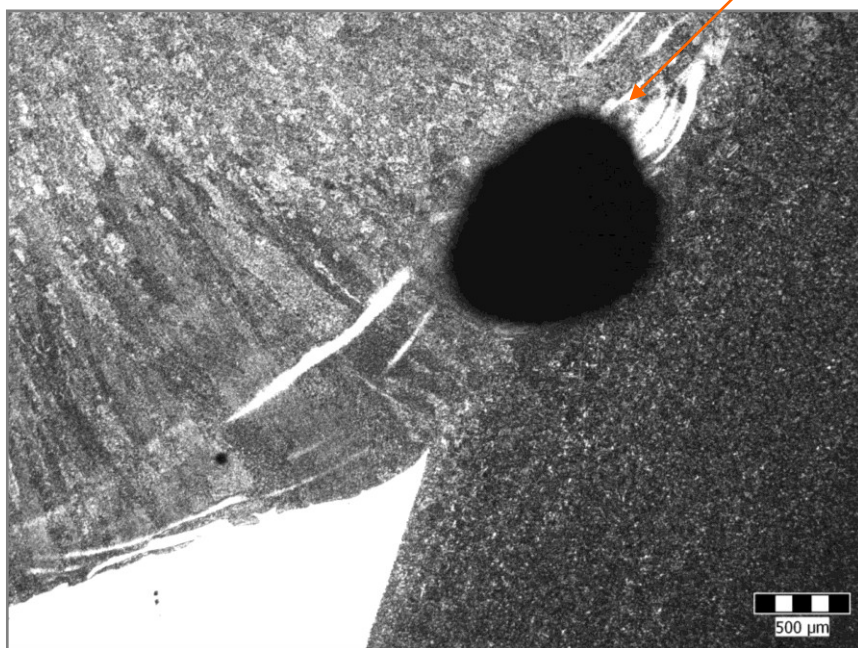
Na obrázcích 25 a 26 je zachycena část tepelně ovlivněné oblasti obou základních materiálů a licí struktura svarového kovu. Světle zabarvená struktura v blízkosti pásma ztavení odpovídá přídavnému materiálu, který byl použit při prvním svařování velkého čepu.



Obr. 25: Mikrostruktura svaru: TOO velkého čepu/SK. (zvětšeno 16x)

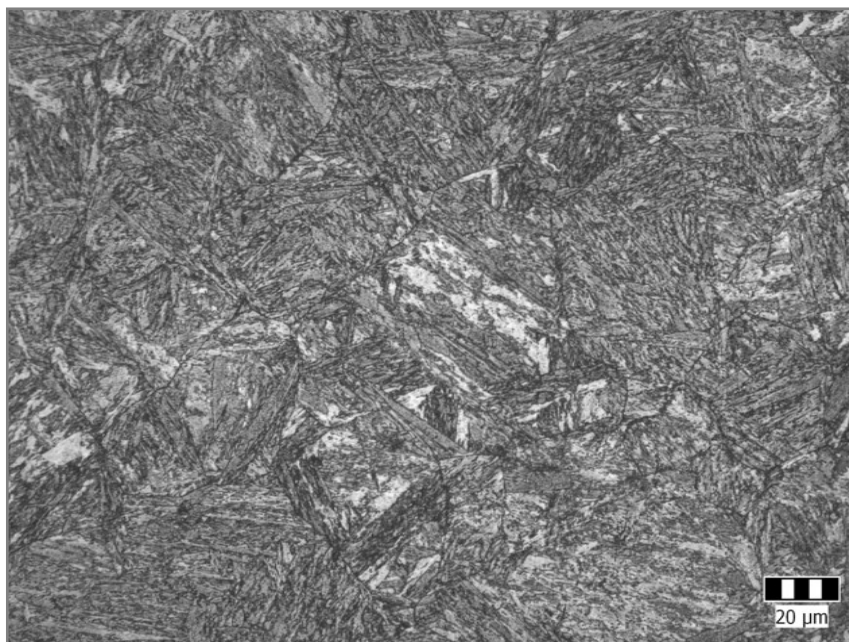


Obr. 26: Mikrostruktura v oblasti svaru (12,5x a 2x): TOO velkého čepu/SK, šipky dvojité tepelné ovlivnění velkého čepu

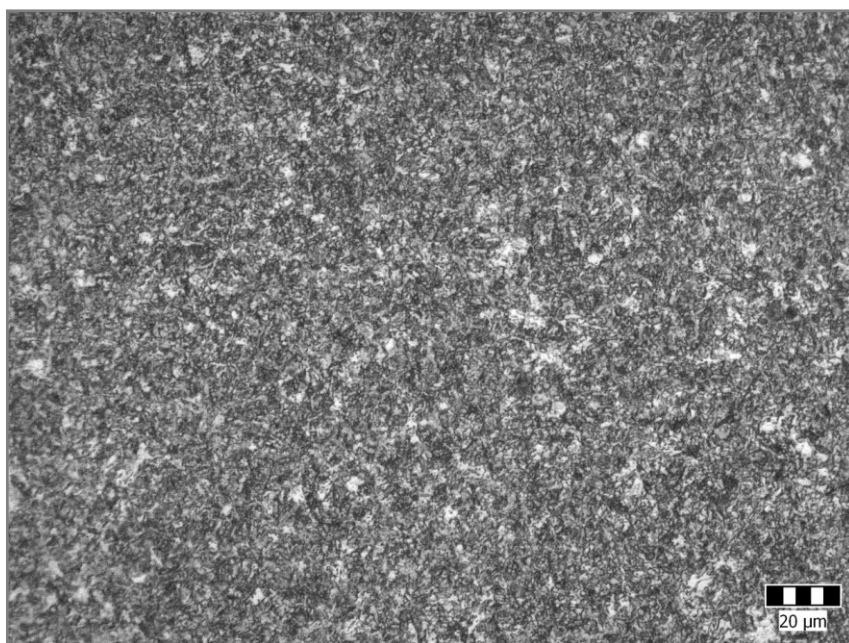


Obr. 27: Neznámý přídavný materiál a dutina na rozhraní čep/svar, zv. 25x

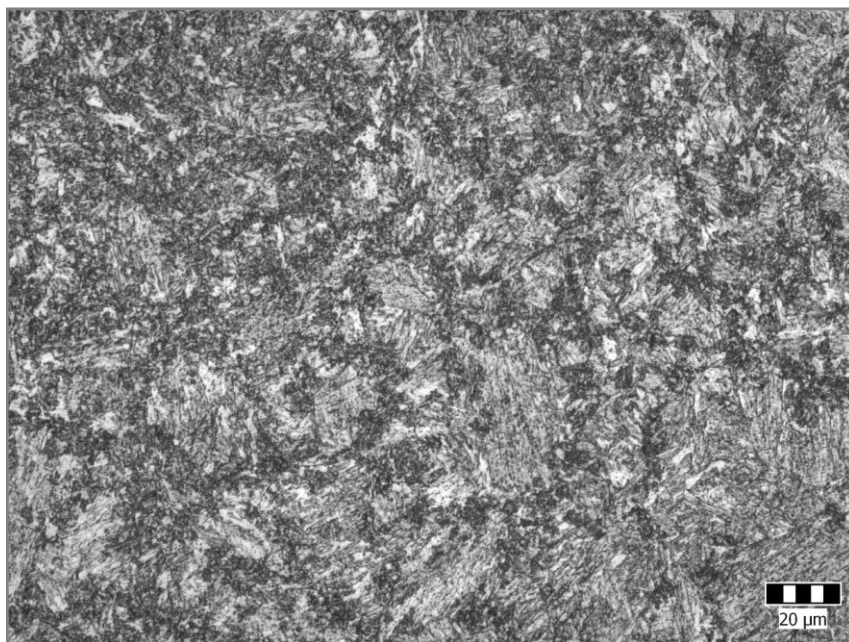
Z obrázku 26 jsou patrné dvě na sebe navazující tepelně ovlivněné oblasti, které nasvědčují již předchozímu svařování velkého čepu, obr. 26 šipka 1. Ukázková mikrostruktura v hrubozrnné, jemnozrnné a interkritické ovlivněné oblasti velkého čepu je uvedena na obrázcích 28 až 30.



Obr. 28: Hrubozrnná oblast TOO velkého čepu (zvětšeno 500x)

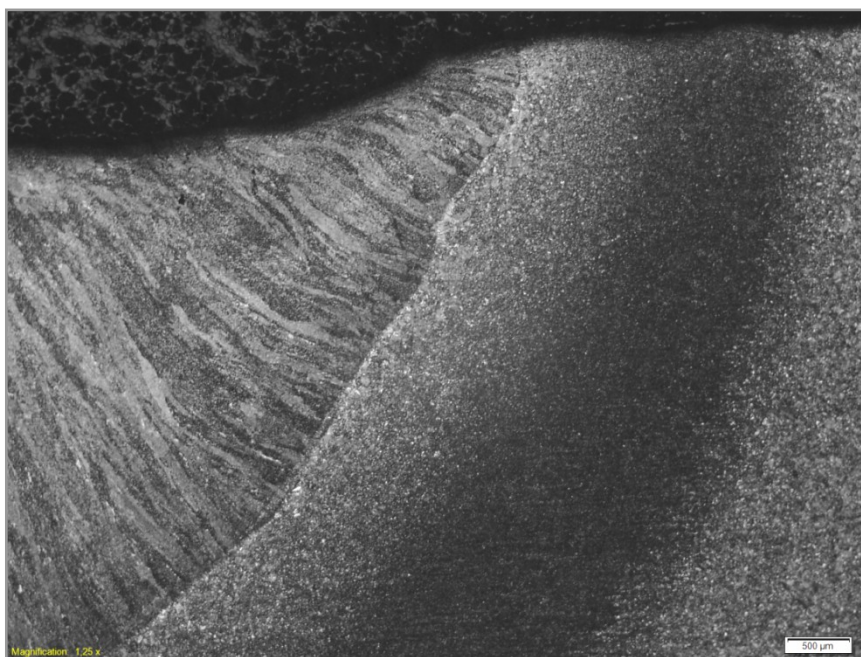


Obr. 29: Jemnozrnná oblast TOO velkého čepu (zvětšeno 500x)



Obr. 30: Interkritická oblast TOO velkého čepu (zvětšeno 500x)

Překrývající se tepelně ovlivněné oblasti pozorované u velkého čepu dosahovaly šířky 5 mm (TOO 1) a 3 mm (TOO 2). Na straně páky bylo tepelné ovlivnění základního materiálu poměrně rovnoměrné po celé tloušťce svařence až ke kořeni svaru, které dosahovalo maximálně šířky 5 mm, např. obr. 31. Na obrázku 32 je zachycen studený spoj mezi první a druhou vrstvou svarových housenek.



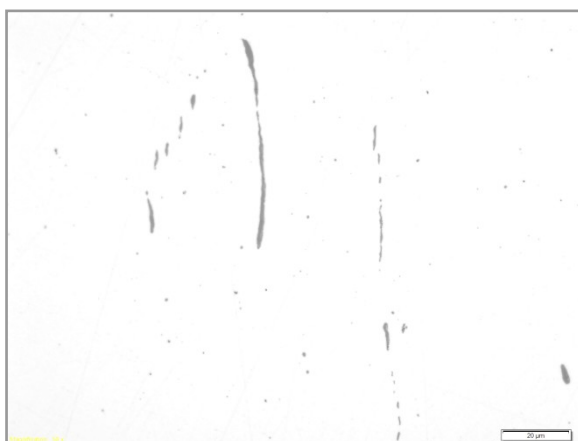
Obr. 31 Mikrostruktura v oblasti svaru: TOO páky/SK, (zvětšeno 16x)



Obr. 32 Mikrostruktura v oblasti svaru: TOO páky/SK, zv. 16x

Vzorek B – svar malý čep/páka

Při studiu vyleštěného výbrusu byly na straně páky detekovány protáhlé sulfidy typu MnS (obr. 33(a)), drobné bodové vměstky a oxidy. V matrici malého čepu byly vedle drobných vměstků lokálně pozorovány i karbonitridy (obr. 33(b)).



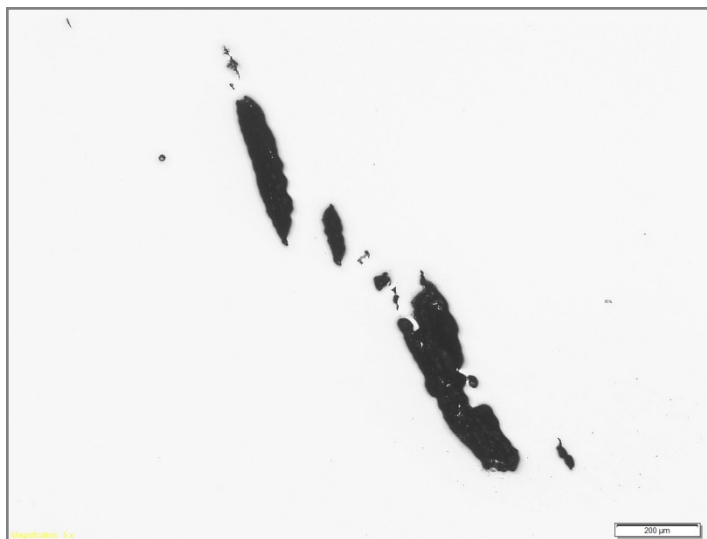
(a) sulfidy



(b) šipka – karbonitrid titanu (páka)

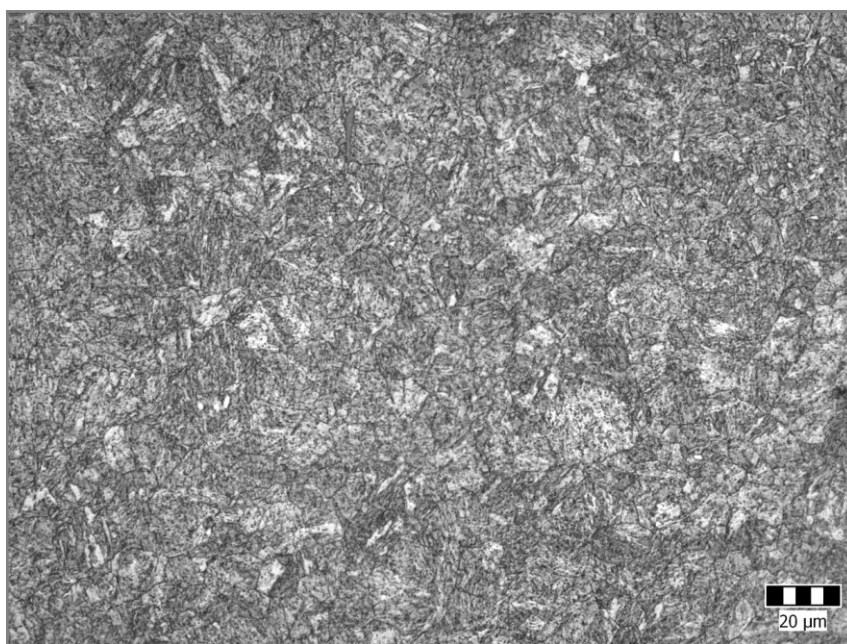
Obr. 33: (a),(b) – vměstky (zvětšeno 425x)

Ve svarovém kovu byly prostřednictvím optického mikroskopu pozorovány trhliny a hrubší globulární dutiny původně pravděpodobně po struskových vměstečích, např. obr. 34. Ve svarovém kovu se vyskytovaly další drobnější trhliny, které jsou přípustné pouze podle kritérií klasifikačního stupně D.



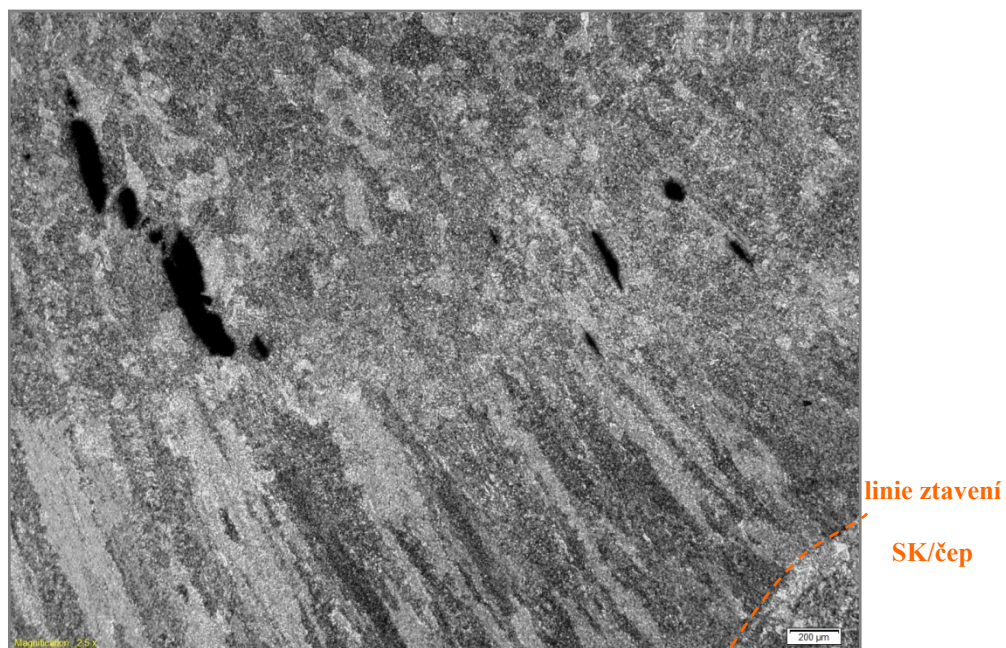
Obr. 34: Trhliny ve svarovém kovu (zvětšeno 65x)

Mikrostruktura páky se ve studovaném řezu B nijak výrazně nelišila. Matrice malého čepu byla popuštěná, zákalná, obr. 35. Podél povrchu malého čepu je patrné tmavěji se leptající pásmo nauhličení, které nasvědčuje cementaci.

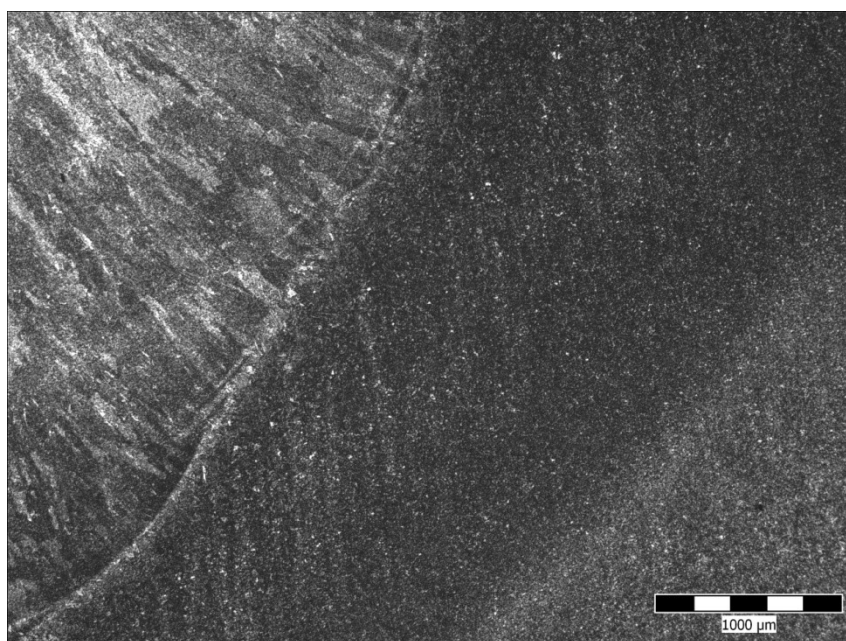


Obr. 35: Mikrostruktura malého čepu (zvětšeno 500x)

Na obrázcích 36 a 37 je zachycena typická lící struktura svarového kovu v místě pozorovaných trhlin a v blízkosti linie ztavení SK/čep (šipka na obr. 38).



Obr. 36 Mikrostruktura v místě trhlinek ve svarovém kovu, (zvětšeno 30x)

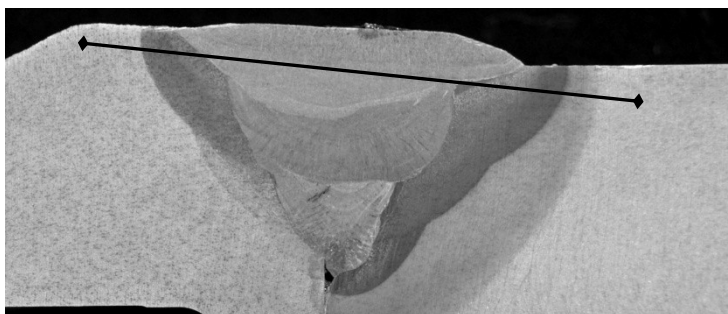


Obr. 37 Mikrostruktura – SK, TOO malého čepu (zvětšeno 12,5x)

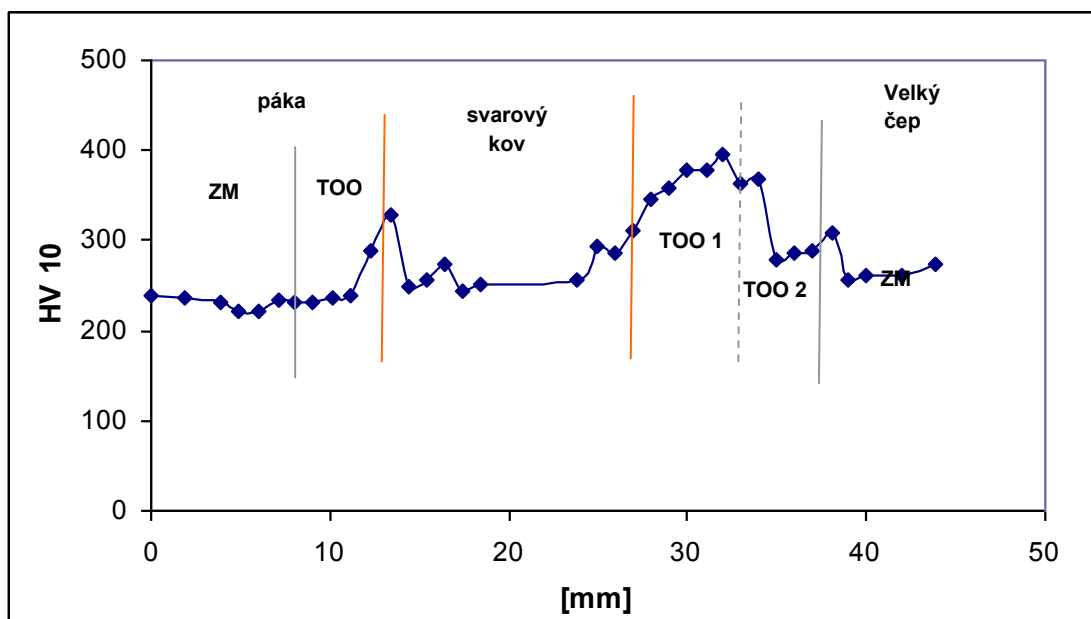
5.7 Stanovení profilu tvrdosti přes svarový spoj

Jedná se o jednu z nejdůležitějších zkoušek svarového spoje. Byla provedena dle normy ČSN EN 1043-1. Zkouška proběhla za pokojové teploty, stanovil jsem při ní profil tvrdosti HV 10 přes svarové spoje mezi čepy a pákou. Oblasti měření a průběhy tvrdostí jsou graficky vyneseny na obrázcích 38 až 41. Tvrdost byla měřena 2 mm pod povrchem svarového spoje.

Měření tvrdosti vzorku A



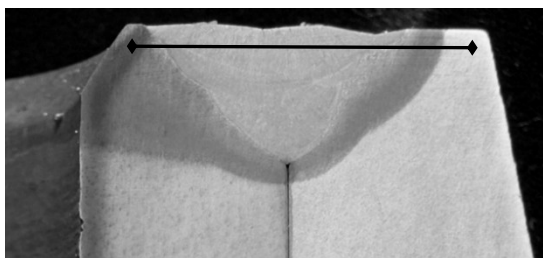
Obr. 38: Oblast měření profilu HV 10, vzorek A (zvětšeno 1,9x)



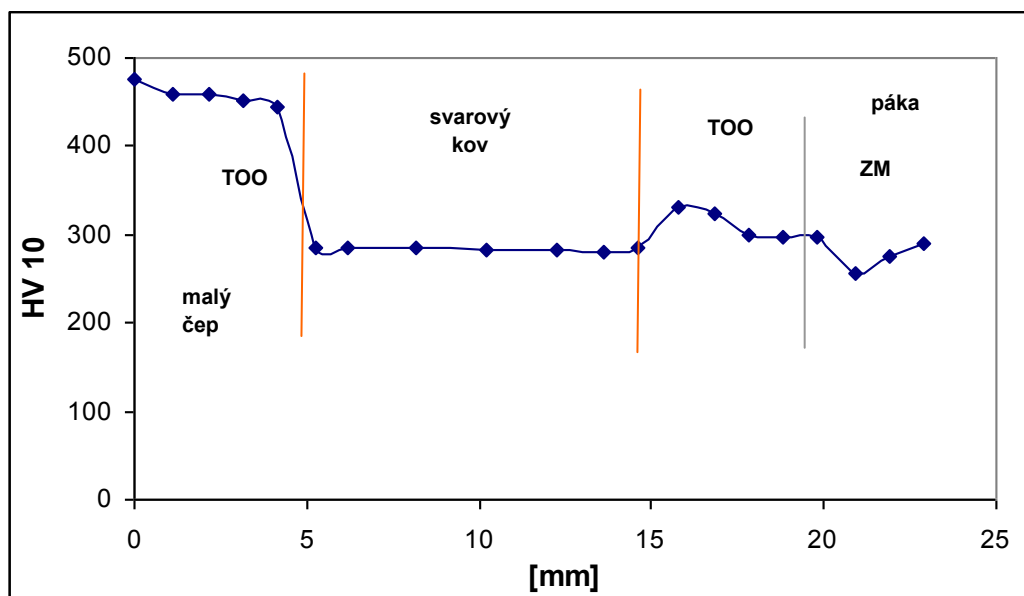
Obr. 39: Profil tvrdosti přes svarový spoj - vzorek A (velký čep/páka)

Úroveň tvrdosti v TOO 1 překračovala asi o 50 HV předepsané maximální hodnoty tvrdosti pro danou třídu materiálu. Lze tedy tuto oblast považovat za potenciální materiálový vrub.

Měření tvrdosti vzorku B



Obr. 40: Oblast měření profilu HV 10, vzorek B, (zvětšeno 1,95x)



Obr. 41: Profil tvrdosti přes svarový spoj - vzorek B (malý čep/páka)

Pod povrchem malého čepu byla tvrdost výrazně vyšší, což je způsobeno nauhličenou vrstvou čepu v místě svaru. Úroveň tvrdosti v TOO výrazně překračovala předepsané hodnoty dle normy.

5.8 Provedení tahové zkoušky

Zkušební těleso tahové zkoušky zahrnovalo oba základní materiály (velký čep, páka), jejich TOO a svarový kov. Mechanické vlastnosti určené z tahové zkoušky provedené při laboratorních podmínkách při pokojové teplotě jsou uvedeny v tabulce 6. K porušení zkušební tělesa došlo v základním materiálu páky v blízkosti TOO, přibližně v oblasti s nejnižší stanovenou úrovní tvrdosti.

Tabulka č. 6: Naměřené hodnoty tahové zkoušky

Mez pevnosti Rm	816 MPa
Tažnost A	12,7 %
Kontrakce Z	53,5 %

5.9 Návrh nové technologie svařování

Díky provedeným zkouškám na svařenci se zjistily vážné nedostatky, které bylo nutné odstranit, aby byla zajištěna kvalita výroby. Změnil se celý technologický postup výroby. Jako první se provedl chemický rozbor neznámého použitého přídavného materiálu, který lze vidět na fotkách mikrostruktury velkého čepu. Tímto rozbohem se zjistilo, že se jedná o čistý nerezový přídavný materiál (austenit). Použití austenitického drátu je vhodné, protože použitá ocel 1.5752 (14Ni14Cr) je martenzitická, tím pádem má velký sklon k tvorbě tvrdých struktur v TOO (ztráta plasticity). Austenitický svarový kov má tuto ztrátu TOO nahradit.

5.9.1 Výběr přídavného materiálu a ochranného plynu

Z katalogu firmy ESAB byl vybrán svařovací drát OK Autrod 16.95, po jehož aplikaci je svarový kov tvořen čistým austenitem. Tento drát se používá pro svařování austenitických nerezavějících ocelí s vysokým obsahem manganu, dále pak pro spoje ocelí obtížně svařitelných. Drát je určen hlavně pro svařování ocelí typu 18-8 s uhlíkovými a nízkolegovanými ocelemi. V tabulce č.7 je uvedeno jeho typické chemické složení, tabulka č.8 uvádí mechanické hodnoty svarového kovu. Byl zvolen průměr drátu 1 mm, z důvodu úpravy svařovacích parametrů.

Tabulka č.7: Chemické složení drátu OK Autrod 16.95 [12]

C	Si	Mn	Cr	Ni
<0,20	<1,2	6,5	18,5	8,5

Tabulka č.8: Mechanické hodnoty drátu OK Autrod 16.95 [12]

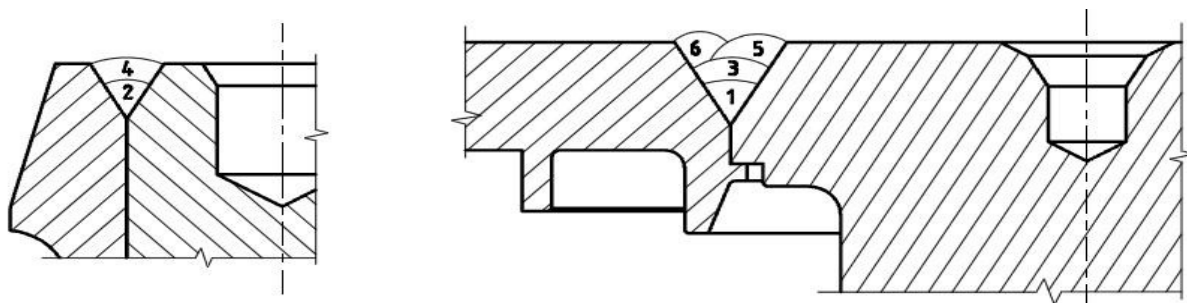
Mez pevnosti R_m	640 MPa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	450 MPa
Tažnost A_5	41 %
KV při 20°C	130 J

Výrobce drátu doporučuje pro svařování nerezových ocelí použití ochranného plynu M12, složení plynu $Ar + 2\div 3\% CO_2$. V tomto případě se nejedná o nerezovou ocel a po konzultaci s výrobcem byl doporučen ochranný plyn Stargon C-8 (Argon + 8% CO_2).

5.9.2 Svařovací parametry a průběh svařování

- Svařovací proud $I = 235\text{ A}$
- Svařovací napětí $U = 28\text{ V}$
- Svařovací rychlost $v = 4\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$
- Průměr svařovacího drátu $d_d = 1,0\text{ mm}$
- Tloušťka svařovaných součástí $s = 18\text{ mm}$

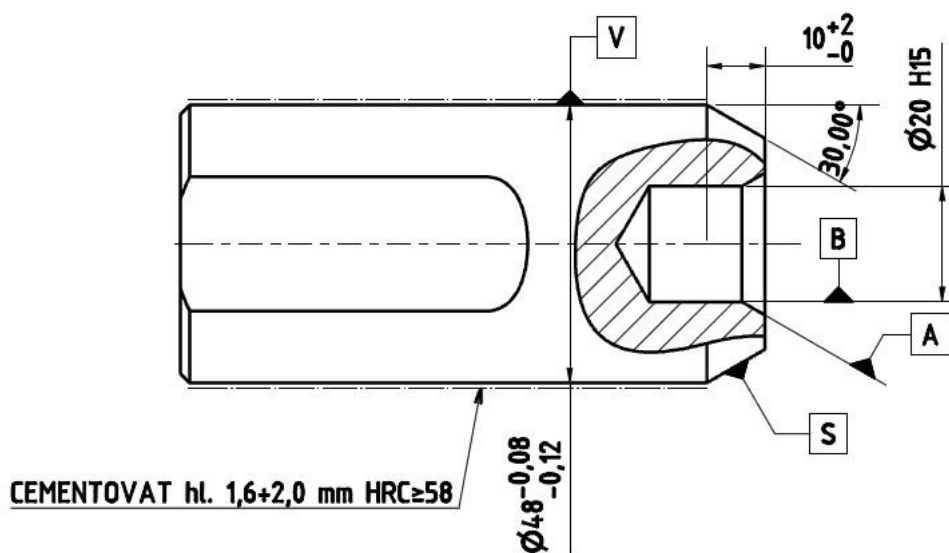
Úprava svařovacích parametrů byla provedena z důvodu snížení tepelného příkonu do základního materiálu. Při vaření poslední vrstvy se místo jedné svarové housenky aplikují housenky dvě. Schéma kladení housenek je na obrázku 43.



Obr. 42: Schéma kladení svarových vrstev

5.9.3 Úprava tepelného zpracování malého čepu

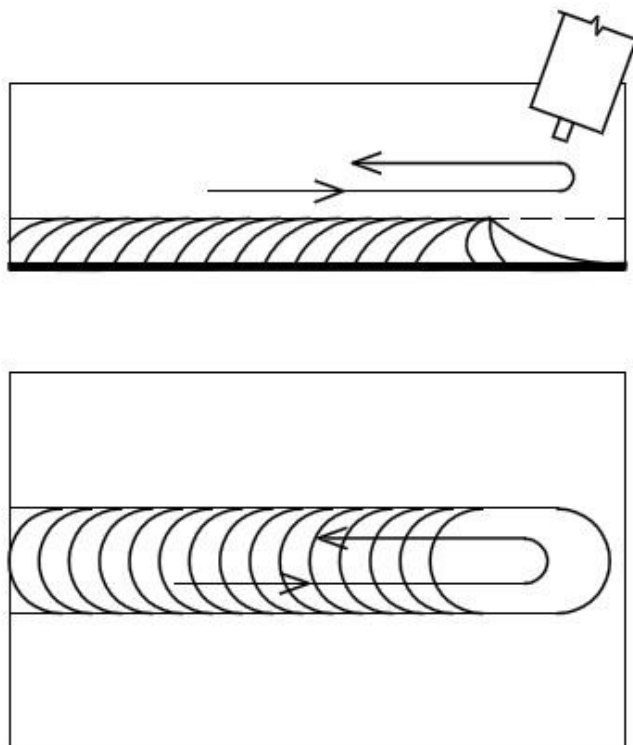
Podle technických podmínek na výkrese malého čepu musí být cementována plocha „V“, plochy „A“ a „B“ být nemusí. Při kontrole tvrdosti ve svarovém spoji malého čepu a páky byla pod povrchem zjištěna tvrdost v TOO > 470 HV. Zavedlo se tedy opatření, aby byly při tepelném zpracování plochy „A“ a „B“ chráněny proti nasycení uhlíkem. Plocha „S“ nesmí být v žádném případě cementovaná z důvodu umístění svarového spoje na této ploše. Na obrázku 44 malého čepu je naznačeno ukončení cementační vrstvy zároveň se začátkem sražené hrany. Pro jistotu se začala tato vrstva ukončovat o 5 mm od sražené hrany a plocha „S“ se vyrábí s přídavkem 0,5 mm, který se po tepelném zpracování odsoustruží, což zabezpečuje, že plocha „S“ nebude nauhličená.



Obr. 43: Malý čep

5.9.4 Opatření proti vzniku kráterových trhlin a dutin ve svarovém kovu

Bližším zkoumáním důvodu vzniku kráterových trhlin při ukončení svarové housenky se zjistila chyba ze strany svařeče. Chyba spočívala v tom, že při ukončení housenky měl být svařovací hořák posunut pozvolným pohybem proti směru postupu tak, jak je naznačeno na obrázku 45.



Obr. 44: Ukončení svarové vrstvy [5]

Na snímcích mikrostruktury bylo možno pozorovat různě velké dutiny ve svarovém kovu, které mohly být způsobeny vypadnutím struskového vměstku. Opět zde byla chyba ze strany svářeče, který nedostatečně mechanicky očistil svarovou housenku. Po tomto zjištění se začalo aplikovat čištění pomocí pneumatického jehlicového čističe znázorněného na obrázku 46.

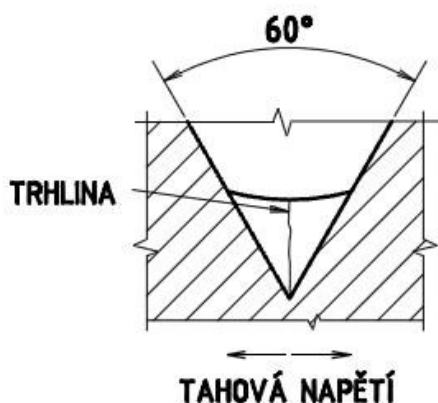


Obr. 45: Pneumatický jehlicový čistič

5.9.5 Provedení svařovacího procesu

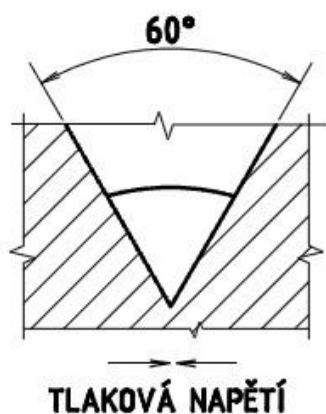
Polotovary svařence se předehřívaly v peci na teplotu 230°C, víc se předehřívat nemohl z důvodu použití austenitického přídavného materiálu. Jako první se vytvořil kořen svaru mezi velkým čepem a pákou, s čímž jsme měli problém, protože austenitický svarový kov je

náchylný na vznik trhlin za horka. Tyto trhliny vznikají v průběhu krystalizace svarového kovu v ose sváru. Při tuhnutí šel vidět propad svarového kovu, schématicky je znázorněn na obrázku 46. To vedlo ke vzniku tahových napětí, čímž došlo k prasknutí sváru v jeho ose, protože zde tuhne kov nejpozději. Při každém prasknutí šlo slyšet slabé cinknutí sváru. Na obrázku 48 je vidět trhlina, která vznikla v kořenovém sváru po celé délce.



Obr. 46: Propad sváru

K vyřešení tohoto problému bylo nutné, aby profil svaru byl převýšený, jak je zobrazeno na obrázku 47. Při svařování musel svářeč dělat kývavý pohyb hubicí tak, že se vracel do svarové lázně. Tímto se dosáhlo požadovaného profilu svarového kovu, který už potom nepraskal, jak lze vidět na obrázku 50. Tento problém se vyskytnul pouze při vaření kořene.



Obr. 47: Převýšení sváru



Obr. 48: Kořen sváru s trhlinou



Obr. 49: Kořen sváru bez trhliny

Z důvodu použití austenitického přídavného materiálu byla nutné dodržet teplotu interpass na hodnotě 220°C. Tato teplota se kontrolovala termokřídou určenou pro tuto teplotu. Na poslední vrstvu sváru mezi velkým čepem a pákou byly použity dvě svarové housenky místo jedné, z důvodu velké šířky sváru v tomto místě. Snížením svařovacích parametrů se snížilo množství vloženého tepelného příkonu, což je zcela žádoucí pro svařenec. Obecně platí, že je lepší použít více svarových housenek s menším tepelným příkonem, protože následné deformace v součásti jsou menší. Po svařování se svařenec vložil do pece na dohřev při teplotě 220°C na dobu 3 hodin.

5.10 Ověření nové technologie svařování

5.10.1 Nedestruktivní zkoušky

Po zavedení nové technologie se zavařil jeden vzorový kus páky tlumiče, který byl následně podroben bližšímu zkoumání. Jako první se provedla vizuální zkouška pohledem, která nenaznačovala žádné chyby na povrchu obou svárů. V důsledku toho se přistoupilo na nedestruktivní penetrační zkoušku - PT.

Při této zkoušce jsme se zaměřili především na místa ukončení svarové vrstvy, která vykazovala na předchozím vzorku značné nedostatky v podobě kráterových trhlin. Po aplikaci správného způsobu ukončení svarové vrstvy, tedy pozvolný vratný pohyb do svarové lázně, tato místa nevykazovala známky trhlin, což bylo zcela žádané. Zbytek povrchu sváru byl také bez trhlin. Zkouška prozářením nebyla provedena.

5.10.2 Destruktivní zkoušky

Po provedení nedestruktivních zkoušek se přistoupilo na zkoušky destruktivní, které jsou pro kontrolu svarového spoje nejdůležitější. Opět se provedl řez přes svarový spoj, jak je možno vidět na obrázku 50.



Obr.50: Oblasti vybrané pro jednotlivé experimenty

Získané vzorky byly vybroušeny a následně leptány v 10-ti procentním roztoku kyseliny dusičné.



Obr.51: Vzorek A – makrostruktura

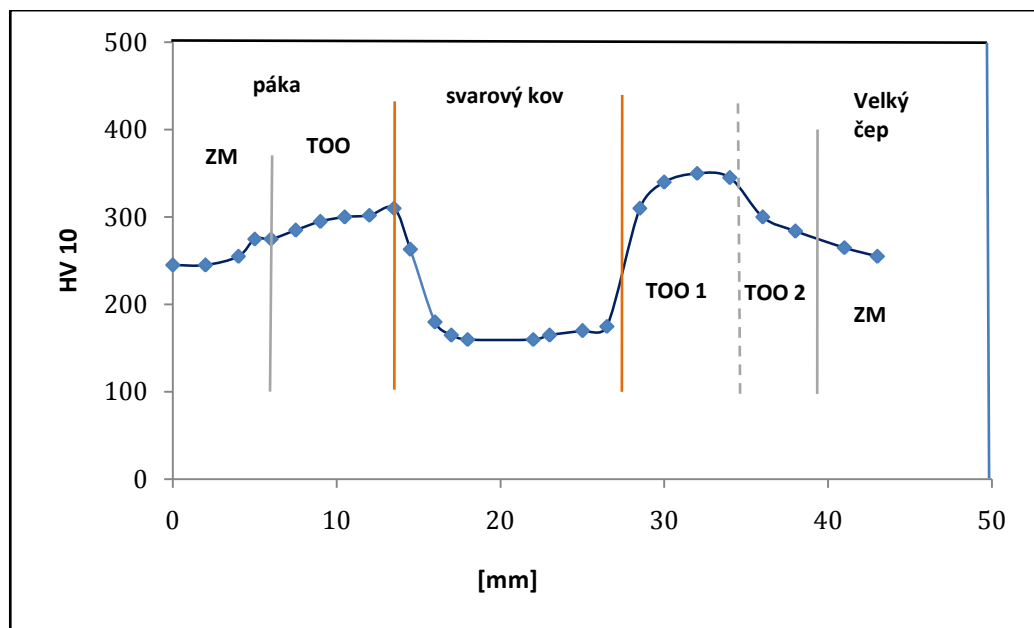
Na obrázku 51 je vzorek pro posouzení makrostruktury mezi pákou a velkým čepem. Leptáním se zviditelnily jednotlivé TOO mezi svarovým kovem (SK) a základními materiály (ZM). Je možno pozorovat, že oblasti TOO jsou menší, než v předchozím případě, v důsledku použití nižších svařovacích parametrů při výrobě. Při leptání svarového kovu nebylo možné pozorovat rozdělení jednotlivých svarových housenek, protože se jedná kov austenitický, který se těžko leptá. Vzorek A byl posuzován podle normy ČSN EN ISO 5817, která nepřipouští žádné viditelné vady v makrostruktuře. Na vzorku A nejsou patrné žádné vady (trhliny, póry, studené spoje), tudíž spoj **vyhovuje**.



Obr.52: Vzorek B – makrostruktura (zvětšeno)

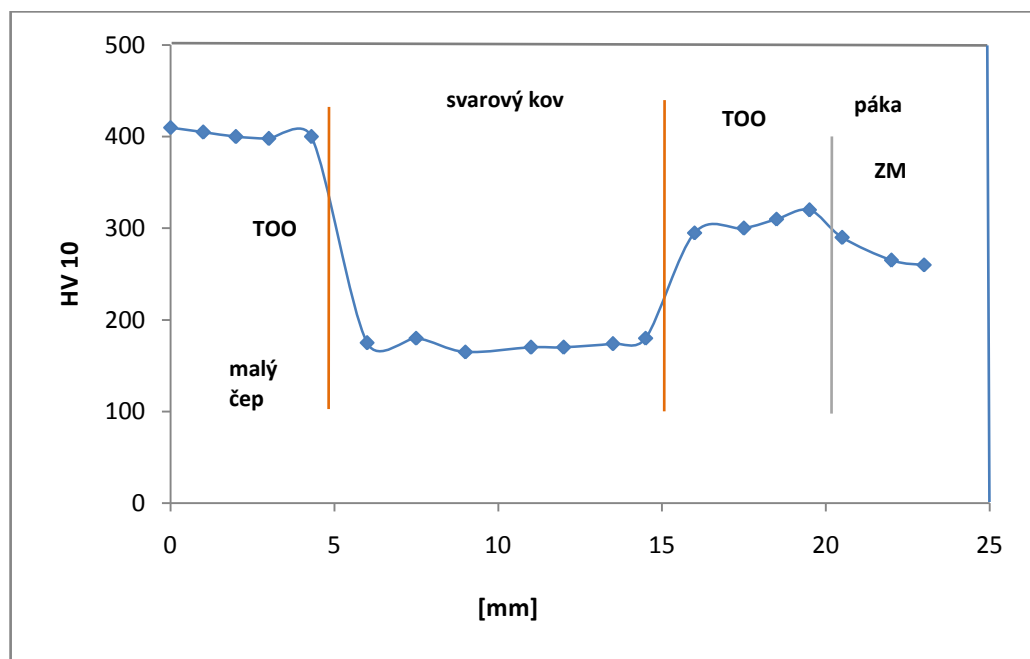
Obrázek 52 ukazuje makrostrukturu svarového spoje mezi malým čepem a pákou, na snímku je vidět, že TOO je nerovnoměrná. Ve svarovém kovu nejsou viditelné žádné póry nebo trhliny, případně studené spoje, tím pádem svarový spoj **vyhovuje**. Dále je možné pozorovat, místo ukončení cementace tak, jak bylo popsáno v kapitole 5.9.3, což je zcela nezbytné z důvodu kvality sváru.

Při stanovení tvrdosti přes svarový spoj se postupovalo stejně, jak v předchozím případě. Tvrdost se měřila 2 mm pod povrchem sváru. Na obrázku 53 je vidět průběh tvrdosti přes spoj velkého čepu a páky. Tvrdost se díky zvýšení předehřevu podařilo snížit, stále však v TOO1 velkého čepu překračovala hodnotu 350 HV10. Nejvýše bylo naměřeno 368 HV10. Plasticita austenitického přídavného materiálu by měla tuto zvýšenou tvrdost nahradit, spoj považuji za vyhovující.



Obr. 53: Profil tvrdosti přes svarový spoj - vzorek A (velký čep/páka)

Při kontrole tvrdosti přes svarový spoj malého čepu a páky jsem zjistil, že hodnoty poklesly oproti minulému vzorku zhruba o 70 HV v místě TOO čepu. Tato tvrdost odpovídá tvrdostí, na kterou se malý čep tepelně zpracovává. Některá literatura uvádí možnost zvýšení hranice tvrdosti v TOO na hodnotu až 400 HV10 při použití austenitického přídavného materiálu, který přirozeně zachovává plasticitu svarového spoje. Tudíž je možné považovat tento spoj jako spolehlivý.



Obr. 54: Profil tvrdosti přes svarový spoj - vzorek B (malý čep/páka)

6. Diskuze dosažených výsledků

Cílem této práce bylo navrhnout technologický postup výroby součásti hydraulického tlumiče. Jedná se o svarový spoj nízkolegované oceli. Byl zvolen přídatný drát podobného složení jako základní materiál a k němu vhodné svařovací parametry. Po samotném provedení svařovacího procesu a zkoumání kvality svarového spoje, byly zjištěny vážné nedostatky v podobě vad uvnitř, i vně svarového kovu. Například tvrdost přes svarový spoj byla mimo hodnoty, které předepisuje norma. To bylo z hlediska kvality svařovacího procesu nevyhovující. Jelikož se jedna ze součástí páky (velký čep) používá opakovaně ze starého provedení, bylo při metalografických rozbořech zjištěno, že mnou zvolený přídatný materiál mu neodpovídá.

Bližším zkoumáním bylo zjištěno, že se jedná o nerezový přídatný materiál, což by odpovídalo poznatkům uvedeným v literatuře Teorie svařování od profesora Kučery. Zde je uvedeno, že pokud není TOO dostatečně plastická, používá se austenitický svarový kov, který by měl plasticitu TOO nahradit. Vypočtená teplota předehřevu také nebyla dostačující, bylo tedy nutné ji zvýšit.

Aplikací nového svařovacího postupu bylo dosaženo lepších výsledků při následných testech. Byly odstraněny všechny vady v podobě trhlin, pórů a studených spojů. Tvrdost v TOO se podařilo snížit, stále však překračovala předepsané hodnoty, z důvodu použití astenického přídatného materiálu je však tento spoj považován za vyhovující.

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit technologický postup svařování páky hydraulického tlumiče. Na začátku práce je popsána technologie výroby celého tlumiče.

Teoretická část obsahuje studii svařitelnosti uhlíkových a nízkolegovaných ocelí, zároveň je vysvětlen pojem svařitelnost oceli. Dále jsem se věnoval rozboru svařitelnosti součástí použitých na výrobu tlumiče, jednalo se o samotnou páku a dva čepy, které jsou vyrobeny z materiálu DIN 14NiCr14 (1.5752), dle ČSN 16 420.

Praktická část zahrnuje návrh přípravku na svařování páky tlumiče. Tento přípravek se používá pouze pro sestavení polotovaru páky a jeho následné stehování. Přípravek je užíván při výrobě, jeho funkčnost je ověřena pěti sty vyrobenými kusy pák.

Následně jsem se zaměřil na detailní technologický postup svařování předmětné páky, který obsahoval návrh metody svařování 135, volbu přídavného materiálu a ochranného plynu. Poté byl proveden výpočet teplot předehřevu a určení, zda je daná ocel náchylná na vznik studených trhlin.

Po provedení svařování byl získaný vzorek podroben nedestruktivním a destruktivním zkouškám svarového spoje. Z výsledků těchto zkoušek byl stanoven závěr, že zkoumaný spoj nevyhovuje. Proto jsem přistoupil k návrhům na zlepšení technologie svařování, které jsem následně ověřil zkouškami na kontrolu svarového spoje. Z výsledků zkoušek vyšlo najevo, že vady z předchozího svařování byly odstraněny, tudíž svarový spoj vyhověl.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knižní publikace:

- [1] KOUKAL, J. SCHWARZ, D. HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svažitelnost*. 1. Vydání. VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2009, 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5
- [2] KOUKAL, J. ZMYDLENÝ, T. *Svařování I*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 133 s. ISBN 978-80-248-0870-3.
- [3] KUČERA, J. *Teorie svařování*. 2. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1991. 408 s.
- [4] KRUNCIPÁL, J. *Teorie svařování*. 1. vydání. SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986. 272 s.
- [5] NOVÁČEK, A a kol. *Svařování*. 1. vydání. Státní zemědělské nakladatelství Praha, 1976. 184 s.
- [7] PLUHAŘ, J. KORITTA, J. *Strojírenské materiály*. 3. vydání. Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1981. 568 s.
- [8] FREMUNT, P. PODRÁBSKÝ, T.. *Konstrukční oceli*. Brno: CERM, 1996, 261 s. ISBN 80-858-6795-8.
- [9] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje-II. díl. Přípravky*. 1. vydání. VŠB Ostrava 1988, 182 s.
- [10] CHVÁLA, B. VOTAVA, J. *Přípravky*. Státní nakladatelství technické literatury Praha 1988, 182 s.
- [11] LEINVEBER, J. VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Úvaly : ALBRA, 2003. 874 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [12] ESAB, *Katalog přídatných materiálů pro svařování*. 4. vydání. ESAB Vamberk, s.r.o. 2011, 586 s.

Internetové zdroje:

- [13] *FERONA, a.s.* [online]. c 2004–2013 [cit. 2011-05-02]. Materiálové listy. Dostupné z WWW: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php>.
- [14] *Boels rental* [online]. 2004 [cit. 2011-05-19]. Otočné svářeční stoly. Dostupné z WWW: <<http://boels.cz/pronajem/instalacni-technika/svareni/otocne-svareci-stoly>>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1

Výkres č. 153-PL-55-901

Příloha č.2

Výkres č. 153-PL-55-902

Příloha č.3

Výkres č. 153-PL-55-001

Příloha č.4

Výkres č. 153-PL-55-002

Příloha č.5

Výkres č. 153-PL-55-003

Příloha č.6

Výkres č. 153-PL-55-004

Příloha č.7

Výkres č. 467-327-20